THOR THÖRNBLAD

TRÅDLÖS
TELEGRAFI

THOR THÖRNBLAD

TRÅDLÖS TELEGRAFI

P. A. NORSTEDT & SÖNERS FÖRLAG

TRÅDLÖS TELEGRAFI

AF

THOR THÖRNBLAD

MED FÖRETAL AF

PROF. IVAR FREDHOLM
PROFESSOR I MATEMATISK FYSIK VID STOCKHOLMS HÖGSKOLA

STOCKHOLM
P. A. NORSTEDT & SÖNERS FÖRLAG

a.
250-
5

med hjälp af en ljusbåge, införd i den slutna kretsen af en kapacitet och en självinduktion. Den betydelse, en liknande anordning senare skulle få för alstringen af odämpade svängningar vid en telegrafering utan tråd, skola vi inom kort lära känna. Rättvisligen bör dock här äfven pointeras, att Thomson själf aldrig angaf möjligheterna af sin anordnings utnyttjande för någon trådlös telegrafi utan som nämndt för helt andra syften.

§ 7. Duddells fenomen.

I en afhandling till »Institution of Electrical Engineers» i London beskref den engelske vetenskapsmannen W. Duddell år 1900 de rön, som framgått af hans experiment med en ljusbåge mellan kolelektroder, inkopplad i den slutna svängningskretsen af en kondensator och en självinduktion. Vid dessa experiment var Duddells anordning som af fig. 374 framgår.[1] En ljusbåge B mellan tvenne elektroder af massivkol (1 à 1,5 mm. åtskilda) spisades af en likströmskälla såsom vid en vanlig ljusbåge. Strömstyrkan i ljusbågen var 3,5 amp. och spänningen mellan kolen 45 volt; å andra sidan var denna ljusbåge kopplad till den slutna kondensatorkretsen CL med en kapacitet af 1 till 5 mikrofarad hos kondensatorn C och en självinduktion hos spiralen L af 5 millihenry. Duddell fann då, att ljusbågen gaf ifrån sig en musikalisk ton. Dess tonhöjd visade sig bero på storleken af kapaciteten och självinduktionen i den slutna kretsen, enär med en variation af dessa faktorer tonhöjden samtidigt växlade. Duddell fann, att fenomenet endast kunde tydligt erhållas, när kapaciteten hos kondensatorn var den nyssnämnda och motståndet hos självinduktionsspiralen litet, ej mer än omkring 1 ohm. Likströmmen måste levereras af en kontinuerligt arbetande dynamomaskin eller annan jämnt

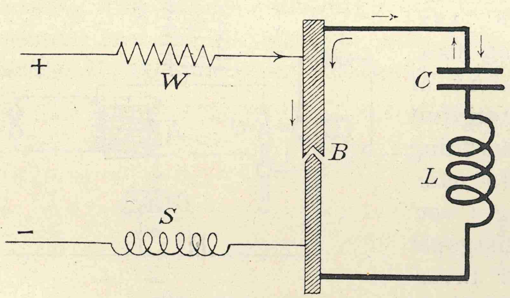


Fig. 374. Duddells anordning.

[1] Brit. Pat., No. 21629, 29 nov. 1900. Se äfven Electrician, Bd. 46, sid. 269, 310, 1900. — Proc. Inst. Elect. Eng., Bd. 30, sid. 148, 1901. — Phys. Zeitschr., Bd. 2, sid. 425, 440, 1901. — Electrician, Bd. 51, sid. 902, 1903.

verkande likströmskälla. För att reglera strömstyrkan tjänade ett motstånd W, och en spole S hade till ändamål att hindra den alstrade växelströmmen att utbreda sig öfver hela systemet till likströmskällan och tvinga den att taga vägen öfver ljusbågen. Ty här liksom i Thomsons anordning alstrades i den slutna kondensatorkretsen CLB en växelström, hvilken i detta fall hade samma frekvens som den alstrade tonens svängningstal.

Peukert lyckades något senare[1] erhålla samma fenomen som Duddell utan någon särskild självinduktionsspole i den slutna kondensatorkretsen. Såsom självinduktion visade sig härvid självfva kondensatorkretsens ledning vara tillfyllest. Naturligen var dock i detta fall kondensatorns kapacitet så mycket större, för att produkten af självinduktion och kapacitet alltjämt skulle blifva tillräcklig att låta en sjungande ljusbåge uppstå. Peukert angaf, att ljusbågen måste vara kort och elektroderna tillverkade af homogenkol. Han visade, att med ifrågavarande anordning kunde erhållas en växelström af större intensitet än den likström, som gaf upphof till densamma. Vid ett försök var t. ex. intensiteten af den likström, som alstrade ljusbågen, 6 ampère med en spänning mellan kulorna af 55 volt. Den i kondensatorkretsen uppkommande växelströmmen däremot, som hade en frekvens af omkring 9,000 växlingar i sekunden, hade en intensitet motsvarande 17 amp.

Beträffande Duddells fenomen hafva flera förklaringar däraf framkommit. Vi skola återkomma härtill å sid. 508.

§ 8. Poulsens ljusbåge.

Svängningarna i Duddells ljusbågsanordning voro af alltför låg frekvens för att kunna utnyttjas för en telegrafering utan tråd. Ej omedelbart efter Duddell-fenomenets upptäckt gaf sig af denna orsak dess användning att för den trådlösa telegrafien alstra odämpade svängningar. Det var först genom dansken Waldemar Poulsens betydelsefulla förbättringar från år 1903, som ljusbågsfenomenet kom att vinna sin stora praktiska betydelse såsom ett medel att erhålla tillräckligt högfrekventa och samtidigt odämpade och kontinuerliga svängningar *af stor intensitet.*

I den generella principen skiljer sig Poulsens ljusbåge icke från Duddells eller Elihu Thomsons anordningar, utan är fastmer att betrakta såsom en förbättring af dem, hvilken förbättring dock i praktiskt hänseende varit ensam utslagsgifvande. Poulsen hade sålunda

[1] E. T. Z., Bd 22, s. 467, 1901.

en ljusbåge (såsom i fig. 372 o. 374), å ena sidan kopplad till en likströmskälla, å andra sidan inkopplad i den slutna svängningskrets, hvilken bildas af en i serie med en självinduktionsspole L kopplad kondensator C (se fig. 377). Själfva ljusbågen företedde dock som nämndt en del genomgripande förbättringar. Den positiva elektroden, anoden, var af koppar och hade formen af ett cylindriskt kärl, hvarigenom kylvatten från en behållare passerade för att förhindra anodens uppvärmning, ty som bekant är det anoden, som ojämförligt starkast uppvärmes. Hela ljusbågen var dessutom innesluten i ett kärl, som innehöll en reducerande gas, hvari ljusbågens förbränning försiggick. Denna gas hölls i ständig cirkulation genom kärlet, så att den förbrukade gasen ständigt aflägsnades och ny tillfördes. Slutligen var ljusbågen applicerad i ett mot densamma vinkelrätt riktadt kraftigt magnetfält, hvarigenom ljusbågen under de magnetiska kraftlinjernas inverkan kom att utböjas något utåt sidan (jfr § 14). Den negativa elektroden bestod af kol och bringades på lämpligt sätt i långsam rotation, på det att kolets förtäring skulle ske med större regelbundenhet.

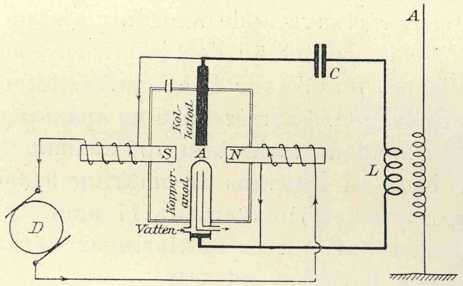


Fig. 375. Poulsens ljusbåge.

Tack vare dessa förbättringar, till hvilkas förklaring vi senare skola återkomma, kunde Poulsen med ljusbågens hjälp erhålla elektromagnetiska svängningar, som i afseende på svängningstalet utan svårighet kunde bringas upp till ett par hundra tusen svängningar i sekunden (likt dem med den vanliga oscillatorn erhållna) och ägde en intensitet, som möjliggjorde deras användning för en trådlös telegrafi.

Som vi längre fram närmare skola se, skred Poulsen raskt till den praktiska användningen af sin ljusbåge såsom afsändare inom den trådlösa telegrafien. Här kan dock vara ägnadt att i korthet omnämna, huru ljusbågen till en början applicerades för ett sådant bruk. De i den slutna svängningskretsen CL (fig. 375) alstrade svängningarna kunna genom lämplig variation af kapaciteten C och självinduktionen L bringas att antaga hvilket som helst af de inom den trådlösa telegrafien brukliga höga svängningstalen, t. ex. 500,000 (motsvarande en våglängd af 600 m.). På vanligt induktivt sätt öfverföras sedan dessa svängningar till antennan, genom att man inkopplar en primärspole i den slutna kondensatorkretsen och en

sekundärspole i antennan. För själfva teckengifningen och mottagandet af de odämpade svängningarna skall senare redogöras.

§ 9. Andra forskares experiment med ljusbågen.

Utom Poulsen hafva äfven andra forskare riktat sin uppmärksamhet åt metoden att med ljusbågens och den slutna kondensatorkretsens hjälp omforma eller öfverföra likström till växelström och använda de så alstrade svängningarna för en telegrafering och telefonering utan tråd. I allmänhet börja dessa forskare att framträda, sedan Poulsen 1902 inlämnat sin första patentansökan.

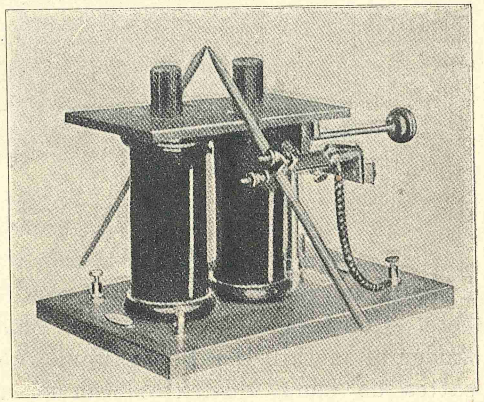


Fig. 376. Ruhmers s. k. ljusbågsafbrytare.

E. Ruhmer, bekant från sina ingående undersökningar af selen och konstruktionen af selenceller, angifver i sitt arbete »Wireless Telephony»,[1] att han redan 1903 var sysselsatt med experiment på detta område. I hvarje fall lämnas året därpå meddelanden om Ruhmers försök i »Bericht über die Ausstellung des Elektrotechn. Vereins von 22—27 nov. 1904».[2] Han använder i sin ljusbåge liksom Poulsen ett transversalt magnetfält för att afböja ljusbågen åt sidan (se fig. 376). Ljusbågen bildas dock här mellan vanliga ljusbågskol, hvilka äro ställda i vinkel mot hvarandra och ej omgifna af någon särskild gas annat än luft. Genom en enkel justeringsanordning kunna kolens inbördes afstånd regleras. I öfrigt är denna ljusbåge liksom Duddells och Poulsens inkopplad i den slutna svängningskretsen af en kondensator och en självinduktionsspole.

Enär denna anordning var ett medel, som med lätthet afbröt strömmen från en likströmsregenerator en 50 à 60 tusen gånger i sekunden, föreslog Ruhmer att inom den trådlösa telegrafien helt enkelt använda densamma såsom afbrytare af primärströmmen till

[1] »*Wireless Telephony*» af E. Ruhmer, öfversatt till engelska af J. Erskine-Murray (1908). Se sid. 185.
[2] Se äfven E. T. Z., Bd 26, sid. 382 (1905).

ett induktorium (se fig. 377). Apparaten i fig. 376 och 377 har därför af Ruhmer benämnts »ljusbågsafbrytare».

Ruhmers arbeten och de praktiska resultaten häraf falla hufvudsakligast inom det speciella gebitet för den trådlösa telefonien,

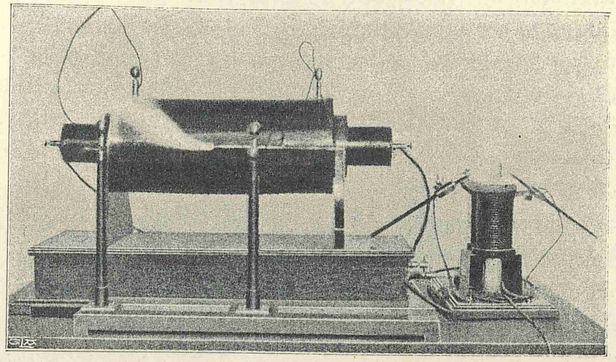


Fig. 377. Ruhmers ljusbågsafbrytare i förening med ett induktorium.

hvarför en utförligare redogörelse för dem ej lämnas i detta arbete. Omnämnas må dock, att han senare öfvergick till elektroder af metall, såväl beträffande anoder som katoder. Först ersattes de båda kolelektroderna af aluminiumstafvar. Senare ersattes anoden af koppar, och katoden antog formen af en skarpkantig aluminiumstaf, som var försatt i långsam rotation.

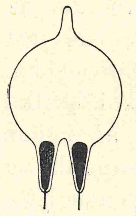


Fig. 378. Cooper-Hewitts kvicksilfverlampa.

En annan variation af ljusbåge mellan metallelektroder möter oss i den s. k. Cooper-Hewitts kvicksilfverlampa[1] (se fig. 378). Denna kvicksilfverlampa består af en lufttom glasballong, försedd med tvenne ansatsrör, som äro fyllda med kvicksilfver till lämplig höjd; i kvicksilfret indoppar underifrån en i hvartdera röret insmält elektrod af platina. Införes nu en sådan lampa i ljusbågens ställe i Duddells eller Poulsens anordningar, så uppstår mellan de båda kvicksilfverytorna en ljusbåge med ett intensivt, för de glödande kvicksilfverångorna i vakuum karakteristiskt sken. Själfva alstringen af ljusbågen går dock ej för sig utan vidare. Tomrummet mellan elektroderna förhindrar att börja med ljusbågens uppkomst, hvarför man antingen genom någon särskild elektricitetskälla, som har större spänning än den för

[1] El. Review, Bd. 42, sid. 264 (1903).

själfva ljusbågens underhåll vanligen använda likströmskällan, först måste sända en högspänd ström genom lampan, innan den vanliga mindre högspända likströmskällan kan användas för att mata ljusbågen, eller ock, hvilket är tillräckligt, måste luta själfva lampan (då likströmmen är tillkopplad), så att kvicksilfret från den ena skänkeln rinner öfver till den andra, i hvilket fall ljusbågen äfven kan bringas att tända sig. När väl detta skett, brinner ljusbågen i en atmosfär, där gasen af det förgasade kvicksilfret är ledande för strömmen. Med ljusbågen under sådana förhållanden uppväckt och vidmakthållen samt kvicksilfverlampan inkopplad i den öfriga slutna svängningskretsen, förmår lampan att såsom Poulsens ljusbåge omforma likströmmen till växelström. Om emellertid strömmen för ett ögonblick afbrytes eller sjunker under en viss gräns, eller om glasballongen afkyles utifrån, så förtätas kvicksilfvergasen, hvilket särskildt lätt inträffar, då glasballongen har en stor yta. Att sedan åter få ljusbågen till stånd är svårare och kräfver en ökad urladdningsspänning, enär med den föregående förbränningen ballongens vakuum alltmer tilltagit. Sålunda kan det vid dessa lampor efter en tids användning inträffa, att en urladdningspotential af 45,000 à 50,000 volt är erforderlig för att återställa ljusbågen.

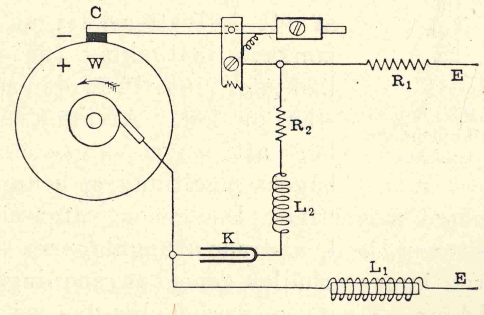


Fig. 379. S. G. Browns anordning.

Denna svårighet att åstadkomma ljusbågar i kvicksilfverlampor har gifvetvis äfven utgjort ett hinder för dess praktiska användning inom en trådlös telegrafi. Särdeles Simon och Reich,[1] Valbreuze,[2] Pierce[3] hafva underkastat kvicksilfverlampan en undersökning för att utröna lämpligheten af dess applicering vid en afsändare enligt ljusbågsmetoden. Deras arbeten i detta hänseende ledde emellertid icke till något positivt re-

[1] Phys. Zeitschr., Bd. 4, s. 364 o. 737, 1903.
[2] Eclair. El., Bd. 36, s. 81, 1903.
[3] Proc. Amer. Acad. of Sc., Bd. 39, s. 389, 1904: »On the Cooper-Hewitt mercury interrupter».

sultat, hvarför vi inskränka oss till att blott hänvisa till, hvar en närmare redogörelse härom kan inhämtas.

Strax efter Poulsens offentliggörande af sitt system under hösten 1906 beskref S. G. BROWN[1] en anordning af det utseende, fig. 379 visar. Den skiljer sig från Duddells anordning därigenom, att i ljusbågens ställe befinner sig en föränderlig kontakt mellan en roterande aluminiumskifva W och ett efter dess periferi formadt stycke koppar, som är fästadt i ena ändan af en häfstång och väl balanseradt af en motvikt, så att trycket mot periferien inskränker sig till ett minimum. Aluminiumskifvan, som utgör den positiva elektroden, får under den långsamma rotationen med sin nedre del doppa ned i en behållare med kylvatten. Hela anordningen befinner sig dessutom innesluten i ett kärl med komprimerad luft, hvarigenom enligt Brown effekten ökas vid omformningen af likströmmen i växelström.

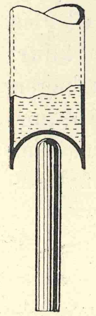


Fig. 380. Hahnemanns ljusbåge.

Samtidigt med Brown offentliggjorde HAHNEMANN i »Elektrotechn. Zeitschr.» (22 nov. 1906) sina försök på detta område. Hans anordning är Poulsens mera lik. Han använder en ljusbåge och den vanliga slutna kondensator- eller växelströmskretsen. Ljusbågen brinner mellan elektroder, af hvilka den positiva utgöres af ett kylvattenskärl af koppar med sin bottenyta konkavt inåtbuktad (fig. 380). I denna fördjupning inskjuter underifrån den negativa elektroden, som består af kol. Afvikande från Poulsens ljusbåge är här, att någon vätgas eller annan gasatmosfär i ljusbågens omgifning ej befinnes vara nödvändig, ej heller något magnetfält. Den genom vätgasens applicering stegrade intensiteten hos de alstrade svängningarna visar sig enligt Hahnemann äfven kunna erhållas genom användningen af flera seriekopplade ljusbågar. I själfva verket bragtes en liknande anordning till användning af »Gesellschaft f. drahtl. Telegraphie» inom system Telefunken vid deras experiment med ljusbågstelefonen.

C. Förklaringen af Duddells fenomen och Poulsens ljusbåge.

§ 10. Motståndet i ljusbågen.

Så snart fråga är om en metallisk ledare för elektriciteten och en likström genom densamma, så är det alltid en viss relation

[1] Electrician, Bd. 58, sid. 201, 1906: »On a method of producing continuous high frequency electric oscillations.»

mellan strömstyrkan i ledningen och spänningen mellan ledarens ändpunkter. Varieras nu denna spänning — man låter exempelvis spänningen växa — så varieras proportionellt häremot den i ledningen utvecklade strömstyrkan. I hvarje särskildt fall kan spänningen såväl som strömstyrkan mätas och de erhållna olika värdena införas i ett koordinatsystem, där abskissan anger strömstyrkan och

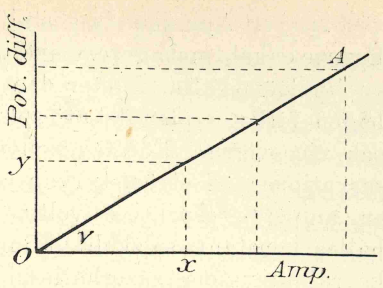


Fig. 381. Stigande karakteristika vid vanlig likström.

ordinatan spänningen. En kurva erhålles, som i detta fall antager formen af en rät linje, hvilken utgår från origo och med abskissan bildar en viss vinkel, v. (Se fig. 381.) Ur Ohms lag $\left(\text{motst.} = \frac{\text{volt}}{\text{amp}}\right)$ härledes likheten mellan å ena sidan motståndet i ledaren och å andra sidan förhållandet mellan spänningen och strömstyrkan. Kurvan OA, som representerar detta förhållande mellan spänning och strömstyrka, benämnes »*karakteristika*». Karakteristikans lutning mot x-axeln, vinkeln v, ger ett besked om motståndet i ledaren, enär $\text{tg } v = \frac{y}{x} = \frac{\text{volt}}{\text{amp}} = \text{ohm}$.

Hvad ofvan anförts, gäller likströmmen i ledare af metall, i hvilket fall således karakteristikan är en kontinuerligt s t i g a n d e,

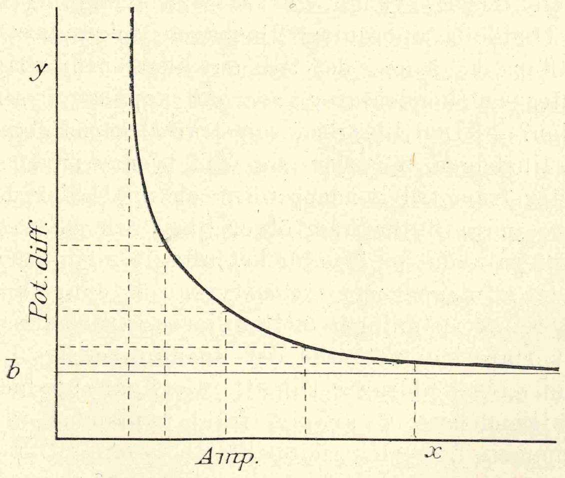


Fig. 382. Fallande karakteristika vid ljusbågen. *Statisk karakteristika.*

rät linje. Annorlunda gestaltar sig karakteristikan hos ljusbågen. Hvarje enkel ljusbåge, exempelvis en vanlig kolljusbåge, som matas af en likströmskälla, företer den egenskapen, att strömstyrkan i ljusbågen faller, under det att spänningen mellan dess elektroder växer, och vice versa. Företaga vi till bekräftelse på detta en serie observationer af strömstyrkan och spänningen mellan kolen (medels en ampère- respektive voltmeter), under det att ljusbågens längd hålles konstant, så skola vi finna, att, om vi införa dessa värden i ett koordinatsystem, så erhålles i st. f. en rät linje en kurva med ett utseende liknande den i fig. 382 återgifna. Här faller kurvan med växande x-värden, hvarför denna karakteristika i motsats till den i fig. 381 återgifna, benämnes fallande karakteristika. Vi konstatera sålunda, att motståndet i likströmsljusbågen gör en afvikelse från Ohms lag.

Det var särskildt den bekanta engelska kvinnliga fysikern Mrs. Ayrton,[1] som utförde undersökningarna öfver dessa karakteristikor för ljusbågen och konstaterade den fallande, afböjda formen hos kurvorna. Ayrtons undersökningar företogos med en ljusbåge mellan kolelektroder, men senare har L. W. Upson[2] visat, att på liknande sätt förhålla sig ljusbågar mellan elektroder af olika metaller och i olika gaser.

§ 11. Svängningsförloppet i ljusbågen.

Vi skola här taga i betraktande, huru man tänker sig uppkomsten af de elektriska svängningarna i den svängningskrets, CBL, hvari vid Duddells anordning ljusbågen inkopplats (fig. 374). Hvad inträffar m. a. o., då till en likströmsljusbåge å ömse sidor anslutes en kondensator, som är kopplad i serie med en själfinduktion? — Den likström, som från elektricitetskällan flyter fram öfver ljusbågen, fördelar sig då i tvenne parter, af hvilka den ena flyter fram till kondensatorn och uppladdar denna, under det att den andra flyter fram öfver ljusbågen. Strömmen öfver ljusbågen har sålunda för ögonblicket aftagit i strömstyrka. Men en följd af ett aftagande hos strömstyrkan är enligt kurvdiagrammet i fig. 382, att spänningen mellan ljusbågens elektroder — eller, som man kortare kan uttrycka det, spänningen hos ljusbågen — ökas, hvilket endast bidrager till att ytterligare uppladda kondensatorn. Då kondensatorn är till fullo uppladdad, flyter ingen del af strömmen från elektricitetskällan vidare till kondensatorn

[1] Ayrton, »The Electric Arc», London, 1902, sid. 102.
[2] L. W. Upson. Jfr sid. 86, Jahrb. d. drahtl. Telegr., Bd 1 (1907).

med den påföljd, att strömmen genom ljusbågen åter börjar öka, hvarvid spänningen hos ljusbågen faller. Då börjar samtidigt den uppladdade kondensatorn att urladda sig genom ljusbågen och än mer öka strömmen genom denna, hvarvid ytterligare fall af spänningen mellan ljusbågens elektroder föranledes. Strömmen från kondensatorn har tvingats att taga vägen endast genom ljusbågen, enär den af motståndet W eller rättare sagdt själfinduktionsspiralen S hindrats att flyta fram genom likströmskällans ledning. (Jfr fig. 374.) På grund af själfinduktionen hos den i serie med kondensatorn och ljusbågen kopplade spolen L — hvilken själfinduktion ju inom dynamiken motsvaras af trögheten — ej blott urladdar sig kondensatorn fullständigt genom ljusbågen, utan strömmen fortsätter att flyta fram och begynner att uppladda kondensatorn i motsatt riktning. Kondensatorn drager härvid ström ifrån ljusbågen, hvars strömstyrka härigenom faller, hvarvid dess spänning ånyo stiger. Då kondensatorn i den nya riktningen blifvit uppladdad,[1] sker en urladdning tillbaka genom ljusbågen. Kondensatorn uppladdar sig åter i den förstnämnda riktningen, hvarefter samma förlopp upprepar sig. Kondensatorns verkningssätt kan sålunda sägas vara att omväxlande draga en del af likströmmen från ljusbågen och sedan lämna denna del åter. Vi kunna äfven säga, att vid svängningsförloppet i ljusbågen kan man urskilja dels en likström, som i en riktning flyter fram genom ljusbågen och endast försiggår i likströmskällans krets WBS (fig. 374), dels en växelström, som lagrar sig öfver likströmsljusbågen och blott äger rum i kondensatorkretsen CBL. Förklaringen till, att vid Duddells anordning en musikalisk ton alstrades i själfva ljusbågen, fann man däri, att strömstyrkan i ljusbågen, som vi ofvan lärt känna, växelvis ökades och minskades. Enär vid strömökning mera energi tillföres bågen, blir också dess tjocklek eller volym större, och vid strömminskning blir dess tjocklek mindre. Dessa växelvisa volymförändringar försätta den omgifvande luften i svängningar, hvarvid en ton alstras, med samma svängningstal som antalet strömväxlingar i ljusbågen. Betingelsen för att tonen skall framträda blir sålunda, att det af kapaciteten C och själfinduktionen L bestämda svängningstalet skall ligga inom gränsen för en hörbar tons svängningstal.

Ljusbågfenomenet har f. ö. sin analogi inom akustiken i uppkomsten af tonen hos en sluten läppipa. I korthet belyst, är för-

[1] Spänningen mellan kondensatorns båda belägg kan härvid vara mycket större än spänningen mellan ljusbågens elektroder. Spänningen hos kondensatorn kan sålunda uppgå till 1,000 à 1,500 volt, under det att spänningen hos ljusbågen blott är t. ex. 220 à 300 volt.

gjort en så snabb utvecklingskarriär i fråga om systemets räckvidd, att det från ett obetydligt afstånd af en eller annan mil nått upp till samma distanser på ett par tusen kilometer, som det med de äldre gnistsystemen var möjligt att uppnå.

En allmännare kunskap inom fackkretsar vann man om Poulsensystemet först genom det remarkabla och nyhetsdigra föredrag, som Poulsen själf höll öfver sitt nya system inför »Elektrotechnischer Verein» i Berlin den 23 oktober 1906.[1] Detta sällskap var då samladt till ett högtidssammanträde i anslutning till den just pågående internationella kongressen för trådlös telegrafi, som under tyske kejsarens beskydd var sammankallad till den tyska rikshufvudstaden. Poulsens föredrag var på sätt och vis att betrakta såsom ett led i kongressens förhandlingar, och de nyheter inom den trådlösa telegrafien, uppfinnaren hade att meddela inför ett auditorium af såväl tyska som utländska fackmän på området, framkallade enligt samtida vittnesbörd en allmän beundran, hvilken äfven tog sig ett varaktigare uttryck i fackpressen och de dagliga tidningarna i alla länder.

Efter nämnda föredrag var det, som Poulsens patent på systemet såldes till det engelska bolaget »The Amalgamated Radio Telegraph Company, Ltd», med nyttjanderätt för hela jorden med undantag för Amerikas Förenta Stater. För Poulsenpatentens utnyttjande i sistnämnda land bildades ett särskildt amerikanskt bolag: »The Poulsen Wireless Telegraph and Telephone Company». Det förutnämnda engelska bolagets rättigheter inskränktes sedermera till att omfatta endast Storbritannien och dess kolonier, Kanada inberäknadt. De härigenom frigjorda patenträttigheterna för alla länder, undantagandes Förenta staterna, Storbritannien och dess kolonier, kommo därvid att öfvergå till »Det Kontinentale Syndikat for Poulsen Radio-Telegrafi» i Köpenhamn. Senare har detta syndikat afhändt sig patenträttigheterna, för Tyskland till »C. Lorenz' Aktiengesellschaft» i Berlin och för Österrike-Ungern och Balkanstaterna till »Telefonfabrik-Aktiengesellschaft, vormals J. Berliner» i Wien.

Vid en redogörelse för Poulsens system skulle det vara en försummelse att icke omnämna Poulsens landsman, docenten P. O. Pedersen, hvilken varit honom behjälplig under många år af hans systems utveckling. Docent Pedersen är konstruktör af den inom Poulsens system för hastighetstelegrafering nyttjade »snabbteckengifvaren», af hvilken apparat vi längre fram i det kommande skola lämna en beskrifning.

[1] Poulsens ifrågavarande föredrag finnes tryckt i E.T.Z. 1906, häfte 45, sid. 1029.

§ 18. Principen för afsändning och mottagning vid system Poulsen.

a) Vid gnistsystemen hade vi vid afsändaren som bekant att göra med en följd af urladdningar öfver gnistgapet eller gniststräckan, hvilka gåfvo anledning till uppkomsten af en följd af oscillationståg med höga begynnelseamplituder, hvilka mer eller mindre hastigt aftogo. (Jfr fig. 369 o. 370.) Vid Poulsens ljusbågsafsändare äro däremot svängningarna kontinuerliga med jämförelsevis ringa amplituder, hvilka emellertid icke aftaga utan bibehålla sin storlek oförändrad. (Jfr fig. 368.) Vid svängningar af det förstnämnda slaget, med stora men hastigt aftagande begynnelseamplituder, är det hufvudsakligast effekten af spänningen, som utnyttjas vid mottagaren, och mottagaren plägar i dylika fall vara försedd med kohärer. Man kan säga, att man vid dylika svängningar utnyttjar den högre spänningen hos blott den första eller någon af de första större spänningsamplituderna hos de infallande oscillationstågen, under det att de efterföljande mindre amplituderna äro för små, för att deras spänning skall kunna tillgodogöras. Under sådana förhållanden är det uppenbart, att man vid de kontinuerliga odämpade svängningarna, hvilka endast hafva jämförelsevis små men konstanta spänningsamplituder, måste lägga an på att utnyttja den sammanlagda eller s. k. integrala (hopsummerade) strömeffekten hos de infallande svängningarna. Huru detta enligt en ny princip tillgår vid mottagaren inom system Poulsen, skola vi snart vara i tillfälle att lära känna. Först skola vi emellertid uppehålla oss vid sammansättningen af afsändaren.

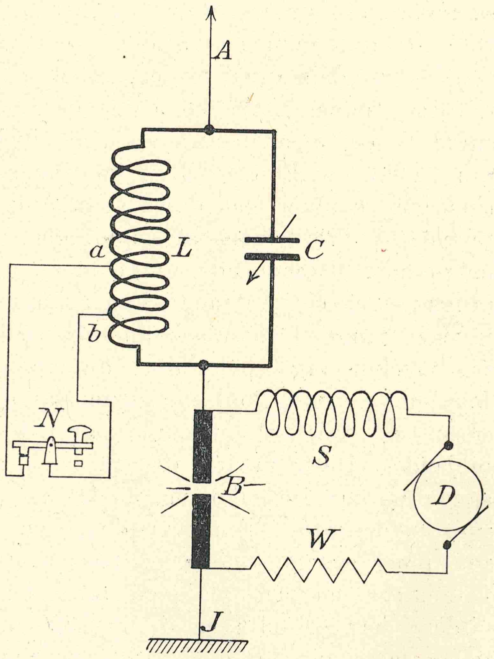


Fig. 390. Hufvudkopplingsschema för en Poulsenafsändare. Telegrafering.

Vi hafva redan i fig. 375 angifvit en koppling för att med ljusbågens hjälp alstra kontinuerliga svängningar i afsändarens antenna. Det var företrädesvis i systemets början, som denna koppling kom till användning. I hufvudsak består denna koppling däri, att ljusbågen tillsammans med en kondensator och en själfinduktionsspole bildar en sluten svängningskrets, och från denna krets öfverföras de kontinuerliga svängningarna till antennan därigenom, att antingen själfinduktionsspolen (såsom i fig. 375) får utgöra primärspolen till en antenntransformator, hvilkens sekundärspole ligger inkopplad mellan antennan och jorden (induktiv förbindelse), eller ock ljusbågskretsens själfinduktionsspole inkopplas direkt mellan antennan och jorden (direkt förbindelse).

Nu för tiden förekommer emellertid inom Poulsens system mera vanligt en koppling, som till sin beskaffenhet framgår af schemat i fig. 390. Ljusbågen bildar här icke såsom i föregående fall en sluten krets tillsammans med kapaciteten och själfinduktionen, utan i stället bilda endast kapaciteten (C) och själfinduktionen (L) tillsammans en sluten krets, hvilken å ena sidan är direkt ansluten till antennan och å den andra sidan står öfver ljusbågen (B) i förbindelse med jorden. Den likström, som matar ljusbågen, tillföres bågen från en dynamo D öfver ett reglerbart motstånd W och en spole af hög själfinduktion, S. Genom denna anordning försättes kretsen CL i kontinuerliga svängningar, under det ljusbågen brinner, och dessa svängningar öfverföras direkt till antennan. — Fördelarna af kopplingen i fig. 390 angifvas vara rätt betydande. Genom den mycket fasta kopplingen mellan svängningskretsen och antennan kan svängningsenergien öfverföras med mycket ringa förlust och under åstadkommande af en jämförelsevis mycket låg spänning i antennan, ej mer än 400 à 500 volt. Kapaciteten vid Poulsens system är ej längre någon energifaktor såsom vid gnistsystemen, utan är till sin verkan blott våglängdsbildande. Detta medför den fördelen, att som kondensator vid afsändaren kan ifrågakomma en lätthandterlig och reglerbar mindre plattkondensator, liknande den, som förekommer vid mottagaren inom gnistsystemen. Likaså är isoleringen af de olika apparatdelarna enklare att genomföra, enär spänningen ej är så hög. Vidare har kopplingen i fig. 390 den afsevärdt vägande fördelen, att, änskönt den är mycket fast, uppkomma likväl icke de eljes vid fast koppling inom gnistsystemen uppträdande båda kopplingsvågorna. Inställandet af antennan efter en bestämd våglängd är mycket lätt att utföra och verkställes genom reglering af antingen kondensatorn C eller själfinduktionsrullen L. — Själfva

teckengifningen vid Poulsenafsändaren i fig. 390 sker genom nedtryckande af nyckeln N. Den närmare verkan häraf skola vi emellertid beskrifva först senare i § 22.

Vi taga här i betraktande, huru de från en Poulsen-afsändare utgångna kontinuerliga vågorna kunna göras påvisbara vid en Poulsenmottagare. Vi hafva redan omnämnt, att, enär spänningen hos de kontinuerliga svängningarna är liten, gäller det att utnyttja deras strömeffekt vid mottagaren. Detta sker på följande sätt. Se härtill kopplingsschemat i fig. 391. På vanligt sätt ligger här mellan antennan och jorden primärlindningen P af en mottagningstransformator. Sekundärlindningen S af denna trans-

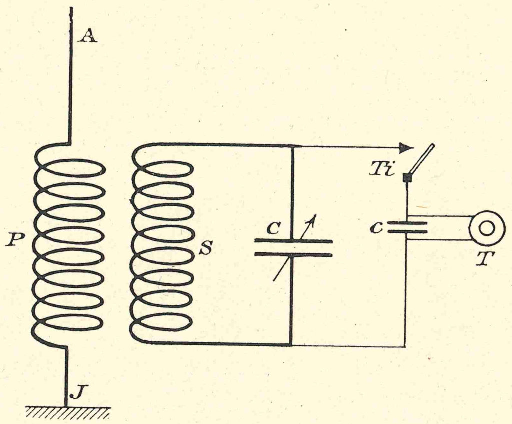


Fig. 391. Hufvudkopplingsschema för en Poulsen-mottagare med tikker. Telegrafering.

formator är kopplad i serie med en kondensator C och bildar med denna en sluten svängningskrets CS, hvilken afstämmes efter antennans krets medels kondensatorn C, som är reglerbar. Parallellt på kondensatorn C är nu kopplad en annan krets CTic, innehållande en hastigt arbetande afbrytare Ti, kallad »tikker» (dansk benämning), samt en liten hörtelefonkondensator c. Vid mottagaren i fig. 391 urskilja vi sålunda tre kretsar: antennkretsen APJ, den slutna kondensatorkretsen CS och tikkerkretsen CTic. Vilja vi nu studera svängningsförloppet i dessa tre kretsar, då kontinuerliga och odämpade svängningar utifrån infalla och uppstå i antennan, så tjänar till belysande häraf de i fig. 392 återgifna svängningskurvorna. Kurvan I representerar de kontinuerliga svängningarna i antennan; kurvan II svängningarna i kretsen CS

vid kondensatorn C:s uppladdning och urladdning; kurvan III belyser uppladdning och urladdning hos hörtelefonkondensatorn c.

Antaga vi, att tikkerkontakten Ti omväxlande befinner sig bruten och sluten, så är, om 1000 afbrott äga rum i sekunden, den sammanlagda tiden för ett tikkerafbrott och en tikkerkontakt $\frac{1}{1000}$ sek. Häraf kan t. ex. ett tikkerafbrott representera $^2/_3$ och en tikkerkontakt $^1/_3$ eller respektive $\frac{2}{3000}$ och $\frac{1}{3000}$ sekund. Om vi nu med denna förutsättning tänka oss, att de kontinuerliga och odämpade svängningarna i antennan öfverföras till den slutna kretsen CS, så uppladdar sig kondensatorn C under den tid, som det

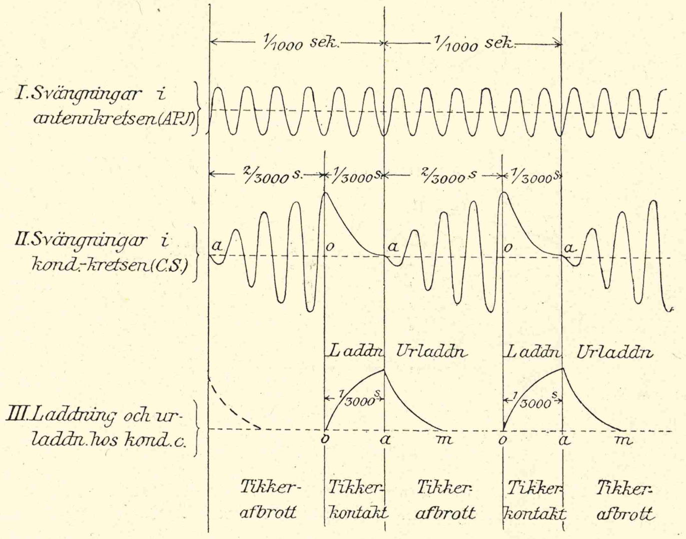


Fig. 392.

är afbrott vid tikkern. Härunder anhopas alltmer vid kondensatorn C svängningarnas energi, hvilket tager sig uttryck i en amplitudökning, såsom kurvparten a—o hos kurvan II anger. I det moment, då tikkern slutes, d. v. s. då tikkerkontakt inträffar, urladdar sig kondensatorn C öfver kretsen C Ti c, hvilket kurvparten o—a hos samma kurva anger. Då tikkerkontakten sedan åter brytes, börjar kondensatorn C att ånyo ladda upp sig, för att vid inträdande tikkerkontakt åter urladda sig o. s. v. Då kondensatorn vid tikkerkontakt urladdar sig öfver kretsen C Ti c, så uppladdar sig samtidigt hörtelefonkondensatorn c, hvilket förhållande kurvparten o—a hos kurvan III åskådliggör. Då å andra sidan tikker-

afbrott inträffar, urladdar sig hörtelefonkondensatorn c (kurvparten a—m) öfver elektromagnetlindningen hos den parallellt på densamma kopplade hörtelefonen, hvars membran på grund af urladdningsströmmen genom hörtelefonens elektromagnetlindning attraheras till järnkärnan. Då urladdningen är verkställd, släppes membranet åter från järnkärnan. Såsom en sammanfattning af förloppet vid mottagaren kunna vi sålunda till slut anföra, att om kontinuerliga och odämpade svängningar infalla mot antennan och samtidigt tikkern är i verksamhet, så sker vid tikkerafbrottet en attraktion af membranet till hörtelefonens järnkärna, och vid tikkerkontakt återgår membranet till sin ursprungliga ställning. Om följaktligen, som vi ofvan antagit, 1000 tikkerafbrott inträffa i sekunden, så försättes telefonens membran i 1000 svängningar i sekunden, och häraf alstras i telefonen ett ljud af motsvarande svängningstal.

b) Naturen hos de kontinuerliga svängningarna är sådan, att de medgifva äfven en trådlös telefonering. I detta arbete hafva vi emellertid, såsom i förordet tillkännagafs, inskränkt oss till att egentligen blott behandla den trådlösa telegrafien, och af sådan anledning faller en närmare redogörelse för den trådlösa telefonien här utanför ramen af vår uppgift. Att helt utesluta ett omnämnande af den trådlösa telefonien är dock icke möjligt vid vår redogörelse för Poulsensystemet, alldenstund de flesta i bruk varande Poulsenstationerna äro utrustade utom för trådlös telegrafi samtidigt äfven för trådlös telefoni. Vi skola därför i korthet nedan se, hvilka enkla förändringar man i själfva verket behöfver vidtaga för att aptera en afsändare och mottagare inom Poulsens system till att kunna användas jämväl vid trådlös telefonering.

Genom att mellan antennan och jorden inkoppla en vanlig mikrofon och såsom vid vanlig telefonering dirigera det talade ljudet mot mikrofonen kan man på den grund, att mikrofonens motstånd varierar under talljudets inverkan, åstadkomma en med talljudet öfverensstämmande karakteristisk variation i intensiteten hos de elektromagnetiska svängningarna i antennan. Nu veta vi, att redan de kontinuerliga elektromagnetiska svängningarna i antennan i och för sig innebära en variation i intensiteten, som försiggår i ungefärlig öfverensstämmelse med den bekanta sinusformiga intensitetskurvan. Är nu denna senare variation af högfrekvent natur (t. ex. 300000/sek.), så är i motsats härtill den intensitetsvariation, som motståndsförändringarna i mikrofonen framkalla under talets inverkan, att betrakta såsom lågfrekvent (t. ex. 300/sek.). Man skulle nu kunna säga, att de lågfrekventa intensitetsvariationerna.

som hafva en karakteristisk och med talet öfverensstämmande oregelbundenhet, inverka på de kontinuerliga, regelbundna och i följd häraf så att säga karaktärslösa högfrekventa intensitetsvariationerna, så att de bibringas talets karaktär. Eller ock skulle man kunna uttrycka detta förhållande så, att talsvängningarna lagra sig öfver de kontinuerliga svängningarna i antennan, och att från antennan utgå elektromagnetiska svängningar, som besitta en konstant högfrekvens på grund af själfinduktionen och kapaciteten hos antennan och samtidigt en föränderlig karakteristisk lågfrekvens på grund af motståndsvariationerna i mikrofonen.

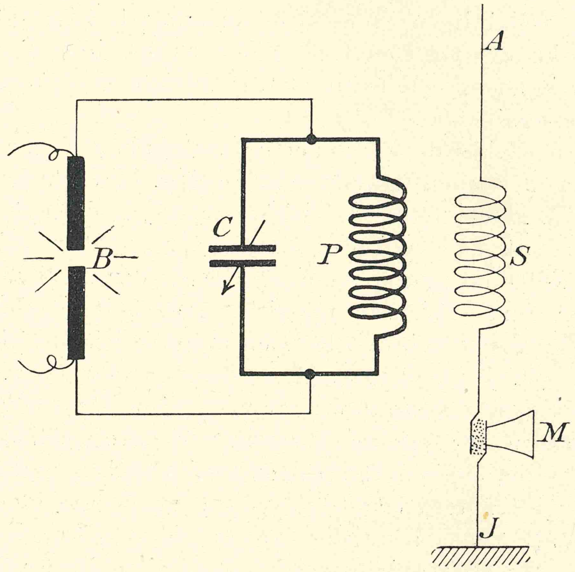


Fig. 393. Hufvudkopplingsschema för en Poulsenafsändare. Telefonering.

Vid afsändarens användning för trådlös telefonering har det visat sig lämpligast att tillämpa en induktiv koppling mellan antennan och den af kapacitet och självinduktion sammansatta slutna kretsen (se fig. 393). Orsaken till, att den direkta kopplingen, med ljusbågen inkopplad direkt i antennan (fig. 390), icke befunnits så lämplig vid trådlös telefoni, har sin grund däri, att energiförhållandena i antennan vid denna koppling äro tämligen stabila, d. v. s. det är svårare att åstadkomma en variation i dem. De rätt obetydliga variationer i intensiteten, som mikrofonen på grund af talet åstadkommer, utjämnas lättare af nytillförd energi från ljusbågen,

om ljusbågen ligger direkt inkopplad i antennan, än om den ligger i en annan krets, som är löst kopplad till antennan. Därjämte uppträda i antennan vid direkt koppling lättare eventuella oregelbundenheter på grund af ojämnheter i ljusbågens bränning, och dylika oregelbundenheter föranleda, om de uppkomma, att talet i mottagaren höres beledsagadt af vissa otydliggörande biljud. — Kopplas däremot ljusbågen på sätt, som i fig. 393 belyses, induktivt till antennan och göres kopplingen relativt lös, så utesluter man i afsevärd mån inverkan af dessa ojämnheter på svängningarna i antennan och biljuden i mottagarens hörtelefon. Därjämte blir den från ljusbågskretsen till antennan öfverförda energien tämligen labil, d. v. s. lättare att åstadkomma en variation i. Hvarje mot-

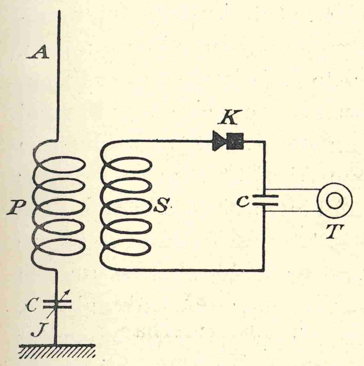


Fig. 394 a.

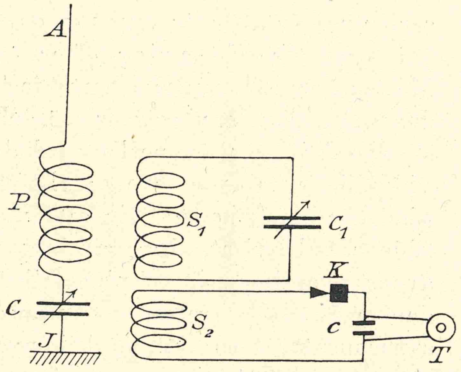


Fig. 394 b.

Hufvudkopplingsschema för en Poulsenmottagare med kontaktdetektor. Telefonering och telegrafering.

ståndsförändring, som under inverkan af talet framkallas i den direkt i antennan inkopplade mikrofonen, har då till följd en tydlig intensitetsvariation hos svängningarna, hvilken icke så lätt utjämnas af nytillförd energi från ljusbågskretsen.

Om man sålunda mot mikrofonen M hos anordningen i fig. 393 dirigerar talet, samtidigt som ljusbågen B brinner och framkallar kontinuerliga svängningar i antennan A, så kunna de talade orden i form af öfver de kontinuerliga svängningarna lagrade karakteristiska intensitetsvariationer öfverföras till en mottagares antenna och där åstadkomma analoga svängningar. För att göra dessa talljud-svängningar uppfattbara duger dock uppenbarligen icke en tikkeranordning, hvilken i stället skulle sönderstycka och göra dessa svängningar alldeles otydbara. Då mottagaren

skall användas för trådlös telefonering, ifrågakommer därför en annan anordning än den med tikkern. I detta fall betjänar man sig af en mottagningskoppling med en likriktande kontaktdetektor, bestående af en enkel kontakt mellan tellur och blyglans (§ 25).

I fig. 394 äro demonstrerade tvenne kopplingssätt, på hvilka kontaktdetektorn kan användas: fig. a är ett enklare och fig. b ett något mera kompliceradt kopplingsschema. Betrakta vi till en början det enklare schemat i fig. 394 a, så är här vid den öppna antennkretsen A P C J induktivt kopplad en sluten aperiodisk krets, sammansatt af sekundärlindningen till transformatorn P—S, kontaktdetektorn K och den konstanta kondensatorn c, på hvilken senare hörtelefonen T är parallellt inkopplad. På grund af frånvaron i den slutna kretsen af en reglerbar kondensator kan visserligen denna krets upptaga energi från antennkretsen, men någon egentlig afstämning efter antennkretsen kan icke äga rum. Mottagaren afstämmes i detta fall efter de infallande vågorna endast medels antennkretsens själfinduktion och kapacitet. På grund af anordningens synnerliga enkelhet kan densamma ifrågakomma vid sådana fall, då icke en alltför utomordentligt stor vikt fästes vid störningsfriheten. En afstämning af blott antennan har i vissa sådana fall visat sig praktiskt tillfyllest. Då emellertid större anspråk ställas på störningsfriheten, införes mellan antennan och den aperiodiska kretsen en sluten afstämningsbar svängningskrets, sammansatt af en själfinduktionsspole S_1 och en reglerbar kapacitet C_1 (se fig. 394 b). Från antennan öfverföras då svängningarna först till denna afstämda krets och därifrån vidare till den aperiodiska detektorkretsen. Härigenom blir visserligen ljudet i hörtelefonen något svagare, men mottagarens afstämningsskärpa och förmåga att utestänga störande inverkningar blir i beaktansvärd grad ökad. Den senare kopplingen medför emellertid större besvär än den enkla lätthandterliga i fig. 394 a.

Då kopplingarna i fig. 394 användas för mottagning vid trådlös telefoni, blifva de mot antennan infallande karakteristiska talljudsvängningarna i detektorkretsen likriktade och utlösas till en likström med intensitetsförändringar, som öfverensstämma med de af talet i afsändarens mikrofon förorsakade intensitetsvariationerna. Häraf försättes membranet i mottagarens hörtelefon i korresponderande svängningar, och det i afsändarens mikrofon intalade ljudet återgifves verkligen alldeles som i en vanlig hörtelefon.

Då samma kopplingar användas för mottagning vid telegrafering, hvarvid ifrågakomma andra än kontinuerliga svängningar vid afsändaren, höras de infallande impulserna såsom längre eller

kortare ljudningar i hörtelefonen i öfverensstämmelse med morsetecknen.

Vi öfvergå nu efter vår redogörelse för hufvudprincipen vid telegrafering och telefonering inom Poulsens system till att taga i närmare skärskådande de olika apparater, som härför användas.

A. Afsändare-apparater.

§ 19. Ljusbågsgeneratorn.

Den mest karakteristiska apparaten inom Poulsens system är den speciellt inrättade ljusbågsgeneratorn. Vi hafva i det föregående redan lärt känna, huru denna ljusbåge tack vare vissa fysikaliska hjälpmedel, såsom afkylningen af kopparanoden, rotationer af kolkatoden, ljusbågens förbränning i lämplig gasatmosfär och dess anordnande i ett transversalt magnetfält, kunnat utnyttjas för att alstra högfrekventa svängningar, som hafva ett tillräckligt kontinuerligt och regelbundet förlopp och samtidigt äro tillräckligt intensiva för att kunna användas vid såväl trådlös telegrafi som trådlös telefoni.

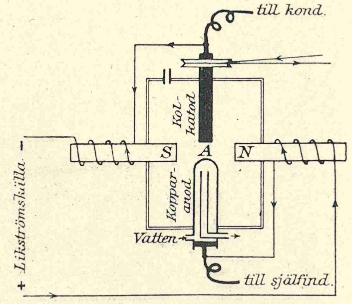


Fig. 395.

Man plägar ibland göra skillnad mellan benämningarna *ljusbåge* och »*ljusbågsgenerator*» eller Poulsen-generator och brukar med den sista benämningen beteckna en anordning, där ljusbågen jämte de elektromagneter, som framkalla magnetfältet, och den gaskammare, som omger bågen, äro sammanförda till en gemensam apparat.

Dylika Poulsengeneratorer förekomma naturligtvis i olika storlekar, alltefter som det gäller att till antennan leverera större eller mindre energimängder för telegrafering öfver större eller mindre afstånd. Schemat i fig. 395 ligger emellertid i hufvudsak till grund

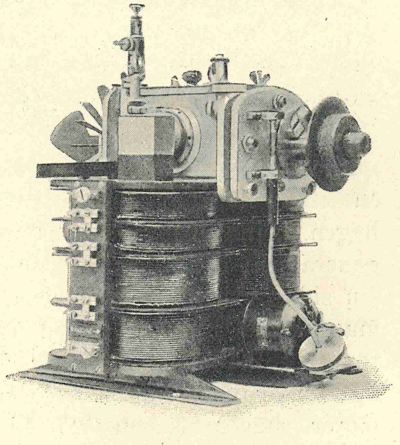


Fig. 396. Poulsengenerator, 4 à 5 kw.

för konstruktionen af både större och mindre ljusbågsgeneratorer. Vi skola nedan taga några dylika generatortyper i betraktande.

I fig. 396 synes en ljusbågsgenerator på 4 à 5 kilowatt. Med en generator på 4 à 5 kw. förstå vi en ljusbåge, som förmår att af den tillförda likströmsenergien alstra växelströms- eller svängningsenergi med nämnda kilowatt-tal. Hos ljusbågsgeneratorn i fig. 396 faller närmast i ögonen lindningarna till de båda elektromagneter, som alstra det transversala magnetfält, hvari ljusbågen brinner. Dessa elektromagnetlindningar erhålla sin ström från likströmskällan, och, som vi förut beskrifvit, är det samma likström, som passerar

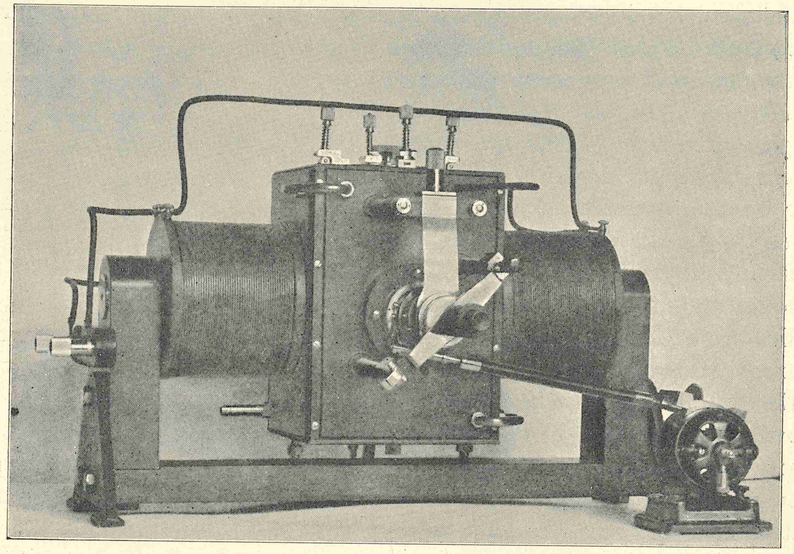


Fig. 397. Poulsengenerator, 12 kw.

genom ljusbågen. För att det magnetiska fältet skall kunna göras svagare eller starkare, äro, som figuren visar, lindningarna uppdelade i vissa grupper, hvilka allt efter behag kunna en eller flera inkopplas i serie med hvarandra. Själfva ljusbågen brinner i en gaskammare, och denna är synlig öfverst å generatorn i fig. 396. I denna insticka genom väggen från hvar sin sida de båda elektroderna, likaså de båda polskor, som elektromagneterna uppbära. Den ena af ljusbågselektroderna, den roterande kolkatoden, insticker i gaskammaren från den sida, som i figuren är vänd mot åskådaren, och här synes likaså den elektriska motor, som genom en transmissionsanordning håller katoden i rotation. Denna motor hämtar sin ström direkt från samma likströms-

källa som ljusbågen och elektromagneterna. Kolkatoden är i sin yttre ända försedd med en knopp af hårdgummi eller fiber jämte en cirkelrund platta af samma material. Genom omvridning af

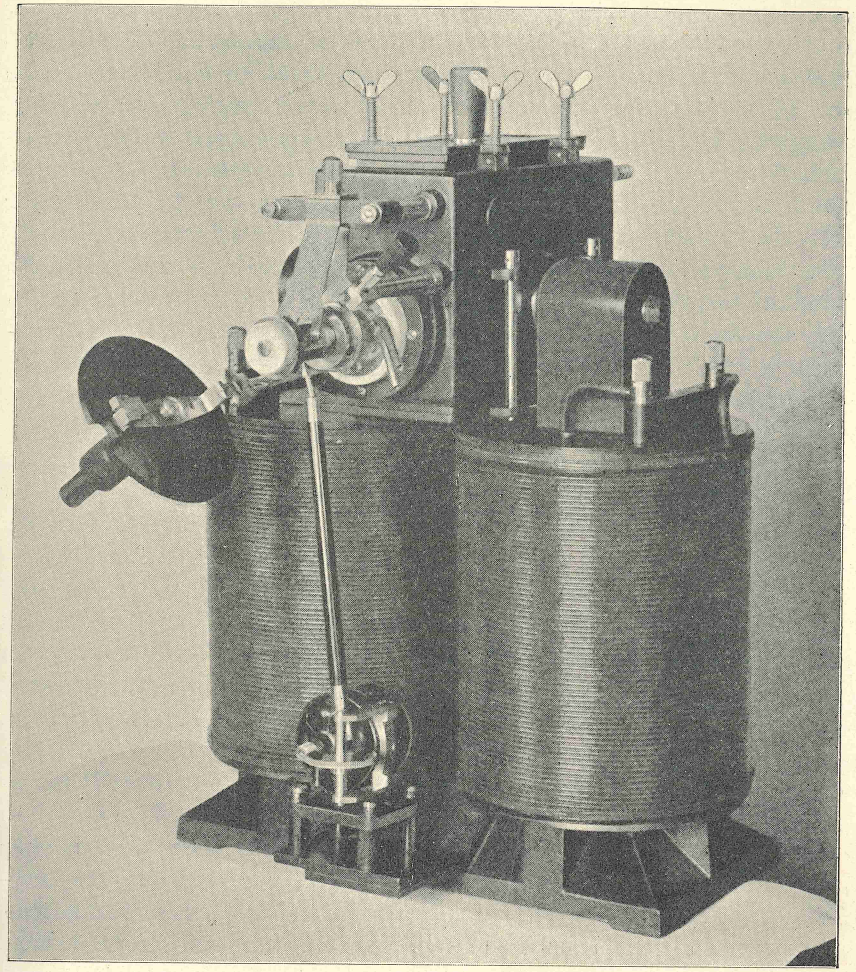


Fig. 398. Poulsengenerator, 30 kw.

den sistnämnda plattan kan man reglera afståndet från kolkatoden till kopparanoden. Kopparanoden insticker genom gaskammarens vägg från den motsatta sidan. För att afkyla anoden eller rättare för att förhindra, att den uppvärmes, kan densamma göras ihålig såsom fig. 395 visar, hvarvid kylvatten får genomströmma den;

eller ock kan man åtminstone vid mindre generatorer såsom den förevarande vara betjänt med att blott låta anodens utanför kammaren befintliga del uppbära strålformigt utskjutande metalllameller, i hvilkas omedelbara närhet en ventilator befinner sig i rotation. Ventilatorn afkyler då lamellerna och dessa i sin tur själfva elektroden. Ventilatorn drifves af samma motor som kolkatoden. Å fig. 396 äro baktill synliga såväl en del lameller som en af ventilatorns vingar. — Gaskammaren utgöres af ett fyrväggigt kärl, och i denna kammare neddroppar sprit från en spritbehållare genom en på locket befintlig droppinrättning. En droppe för hvar annan eller hvar tredje minut plägar vara tillräckligt för att förse kammaren med en lämplig atmosfär af vätgas. Droppinrättningen öppnar och stänger sig automatiskt, då ljusbågen tändes, respektive afbrytes. Den förbrukade gasen utledes genom ett särskildt afloppsrör, som befinner sig å baksidan af generatorn i fig. 396. För rengöring af gaskammaren kan locket till densamma skrufvas löst och aftagas.

I fig. 397 synes en annan generatortyp, som levererar en svängningsenergi af omkring 12 kilowatt. Denna generator skiljer sig i princip ej från föregående typ. Likströmmen inledes i generatorn vid de bägge klämskrufvar, som äro synliga längst till vänster. Antaga vi t. ex., att strömmen inkommer vid den närmast åskådaren befintliga klämskrufven, så passerar den först genom den ena elektromagnetlindningen och så omedelbart genom den andra elektromagnetlindningen; härifrån ledes strömmen till kolkatoden (den hitre elektroden) och genom ljusbågen till kopparanoden samt därifrån till den bortre af de båda nyssnämnda klämskrufvarna, där strömmen lämnar generatorn.

I fig. 398 är återgifven afbildningen af en ännu större Poulsengenerator, som är afsedd att leverera en svängningsenergi af upp till 30 kilowatt. Denna är konstruerad enligt samma princip som generatorn i fig. 396, ehuru den afviker i vissa mindre betydande detaljer. Här t. ex. afkyles kopparanoden icke af någon ventilator utan genom en i dess inre framflytande ström af vatten.

Genom att tillverkningsrätten till Poulsensystemet är öfverlåten till olika elektriska konstruktionsfirmor i olika länder (se § 17), och alldenstund dessa firmor vid tillverkningen af de olika apparaterna inom systemet kunnat efter behag variera apparaternas yttre utseende och i viss mån äfven deras inre konstruktion, hafva vi att lägga märke till olika varianter af apparater, som förrätta samma funktion inom systemet. Så t. ex. är den i fig. 396 synliga Poulsengeneratorn konstruerad af »Telefonfabrik-Aktiengesellschaft,

vorm. J. Berliner» i Wien, under det att Poulsengeneratorn i fig. 397 härstammar från »Det Kontinentale Syndikat for Poulsen-Radiotelegrafi» i Köpenhamn. Dessa och i den kommande beskrifningen omförmälda apparater äro emellertid att betrakta såsom Poulsenapparater, enär de ingå såsom delar i Poulsens system och emedan deras tillverkning är grundad på Poulsens patent.

§ 20. Anordningar för själfinduktion och koppling vid afsändaren.

Hvarest själfinduktionen kommer i fråga vid en Poulsenafsändare, har redan framgått af schemat i fig. 390 och schemat i fig. 393. Antingen kan själfinduktionsspolen, såsom fallet är med L vid den direkta kopplingen i fig. 390, tjäna såsom enbart själfinduktion, eller ock kan spolen, som fallet är vid den induktiva kopplingen i fig. 393, tjäna samtidigt såsom själfinduktion och primärlindning i den kopplingstransformator, hvilken öfverför svängningarna till antennan.

En anordning för själfinduktion, som kan användas vid såväl den direkta som den induktiva kopplingen, är den i fig. 399 synliga.[1] Den består af en spiral af kopparrör, hvars samtliga hvarf kunna tagas i anspråk, i hvilket fall själfinduktionen är störst. Eller ock kan hvarfvens antal efter behag minskas, hvilket låter sig verkställas genom inställning och vridning af den i anordningens midt synliga metallaxeln med handgreppet. Vid denna metallaxel är fästad en släpkontakt, som inifrån ligger an mot spiralen. Vid direkt afsändarekoppling inkopplas denna spiral i systemet mellan ljusbågen och antennan parallellt med afsändarekondensatorn (se fig. 390). Vid induktiv koppling åter användes själfinduktionen därjämte såsom primärspiral och kopplas till kondensatorn och ljusbågen, på sätt som fig. 393 visade. Den sekundärspiral, som i detta fall inkopplas mellan antennan och jorden, är äfven synlig å fig. 399 såsom en mindre trådspole. Den är genom ett gångjärn fästad vid stommen af den större kopparrörsspiralen, ehuru isolerad från denna. Kopplingen mellan de båda spolarna af denna trans-

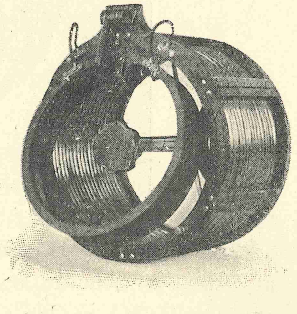


Fig. 399. En själfinduktions- och kopplingsanordning vid afsändaren.

[1] Tillverk. af »Telefonfabrik-Aktiengesellschaft, vorm. J. Berliner», Wien.

WIRELESS TELEGRAPHY BY THOR THÖRNBLAD

AT THE PRESENTATION OF

PROF. IVAR FREDHOLM
PROFESSOR OF MATHEMATICAL PHYSICS AT STOCKHOLM UNIVERSITY

STOCKHOLM P.
A. NORSTEDT & SÖNERS PUBLISHING

by means of an arc, introduced into the closed circuit of a capacity and a self-induction. The importance that a similar device would later have for the generation of undamped oscillations in a telegraph without a wire, we will shortly learn. However, it should also be pointed out here that Thomson himself never indicated the possibilities of using his device for any wireless telegraphy, but as mentioned for completely different purposes.

§ 7. Duddell's phenomenon.

In a paper to the Institution of Electrical Engineers in London, the English scientist W. DUDDELL in 1900 described the findings of his experiments with an arc between carbon electrodes, connected in the closed oscillating circuit of a capacitor and a self-induction coil. In these experiments, + W S Duddell's device as shown in Fig. 374 was between two electrodes of solid carbon (1 to 1.5 mm. apart) was fed by a direct current source as in a B L ordinary arc. The current in the arc was 3.5 amp. and the voltage between the carbons 45 volts; on the this arc was connected to the closed capacitor circuit CL with a capacity of 1 to 5 microfarads in the capacitor C and a self-induction coil L of 5 milli-henry. Duddell then found that the arc gave off a musical note. Its pitch was found to depend on the magnitude of the capacitance and self-induction in the closed circuit, since with a variation of these factors the pitch varied simultaneously. Duddell found that the phenomenon could only be clearly obtained when the capacitance of the capacitor was as just mentioned and the resistance of the self-induction coil small, not more than about 1 ohm. The direct current must be supplied by a continuously operating dynamo or other evenly

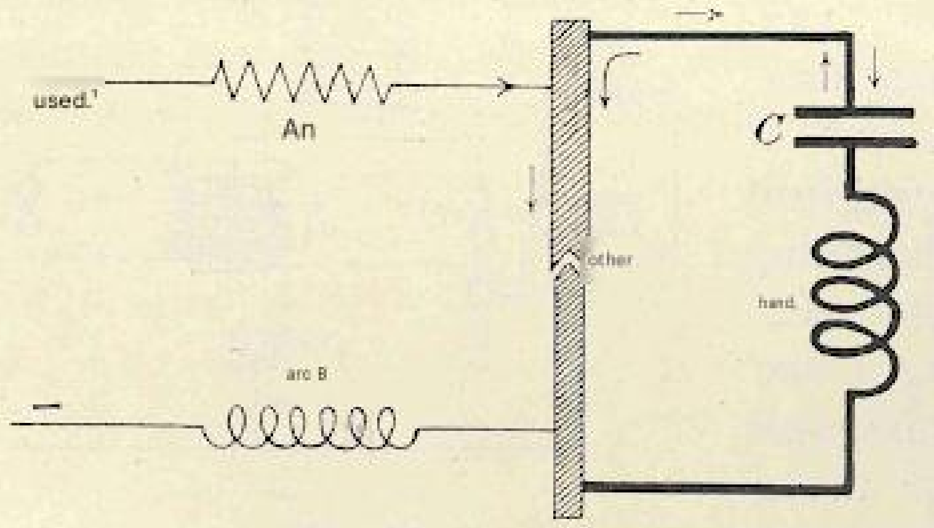


Fig. 374. Duddell's device.

1 Brit. Pat., No. 21629, 29 Nov. 1900. See also Electrician, Vol. 46, p. 269, 310, 1900. Proc. Inst. Elect. Eng., Vol. 30, p. 148, 1901. Phys. Zeitschr., Vol. 2, p. 425, 440, 1901. Electrician, Vol. —51, p. 902, 1903.

acting direct current source. A resistor W served to regulate the current strength, and a coil S had the purpose of preventing the generated alternating current from spreading over the entire system to the direct current source and forcing it to take the path over the arc. For here, as in Thomson's device, an alternating current was generated in the closed capacitor circuit CLB, which in this case had the same frequency as the oscillation number of the generated tone.

PEUKERT succeeded somewhat later[1] in obtaining the same phenomenon as Duddell without any special self-induction coil in the closed capacitor circuit. As self-induction, the conductor of the capacitor circuit itself proved to be sufficient. Naturally, however, in this case the capacity of the capacitor was so much greater that the product of self-induction and capacity would still be sufficient to cause a singing arc to arise. Peukert stated that the arc had to be short and the electrodes made of homogeneous carbon. He showed that with the device in question an alternating current of greater intensity could be obtained than the direct current which gave rise to it. In one experiment, for example, the intensity of the direct current which generated the arc was 6 amperes with a voltage between the balls of 55 volts. The alternating current arising in the capacitor circuit, on the other hand, which had a frequency of about 9,000 changes per second, had an intensity corresponding to 17 amps. Regarding Duddell's phenomenon, several explanations have emerged. We will return to this on page 508.

§ 8. Poulsen's arc.

The oscillations in Duddell's arc device were of too low a frequency to be used for telegraphy without a wire. For this reason, it was not immediately after the discovery of the Duddell phenomenon that its use for generating undamped oscillations for wireless telegraphy began. It was only through the significant improvements of the Dane WALDE-MAR POULSEN in 1903 that the arc phenomenon gained its great practical importance as a means of obtaining sufficiently high-frequency and at the same time undamped and continuous oscillations of great intensity.

In general principle Poulsen's arc does not differ from Duddell's or Elihu Thomson's devices, but is rather to be regarded as an improvement of them, which improvement, however, in practical terms was the only decisive one. Poulsen had thus

1 E. T. Z., Bd 22, s. 467, 1901.

an arc (as in Fig. 372 0. 374), on the one hand connected to a direct current source, on the other hand connected to the closed oscillating circuit, which is formed by a capacitor C connected in series with a self-induction coil L (see Fig. 377). The arc itself, however, as mentioned, presented some radical improvements. The positive electrode, the anode, was of copper and had the shape of a cylindrical vessel, through which cooling water from a container passed to prevent the anode from heating, for as is known it is the anode that is heated incomparably most strongly. The entire arc was also enclosed in a vessel containing a reducing gas, in which the combustion of the arc took place. This gas was kept in constant circulation through the vessel, so that the spent gas was constantly removed and new gas was supplied. Finally, the arc was applied in a strong magnetic field directed perpendicular to it, whereby the arc, under the influence of the magnetic lines of force, was deflected somewhat outwards to the side (cf. § 14). The negative electrode consisted of carbon and was brought into slow rotation in a suitable manner, so that the consumption of the carbon would take place with greater regularity. -2000 Copper D

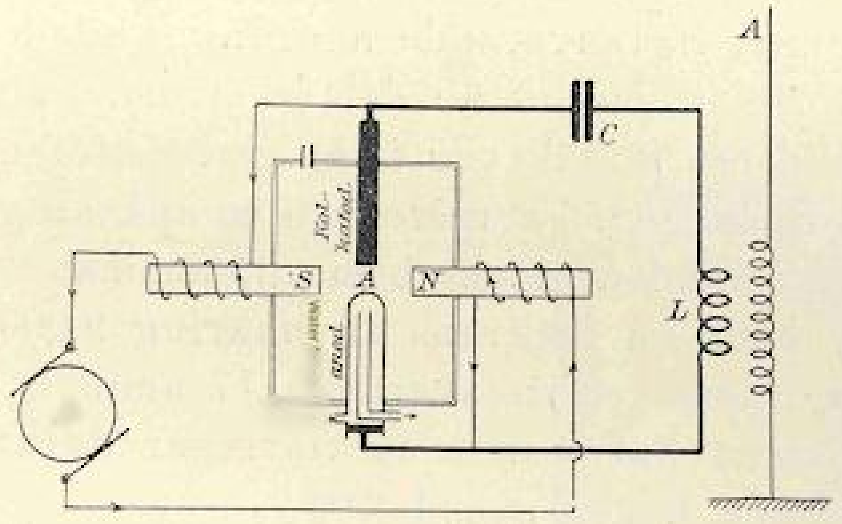


Fig. 375. Poulsen's arc.

Thanks to these improvements, to the explanation of which we will return later, Poulsen was able to obtain electromagnetic oscillations with the help of the electric arc, which in terms of the oscillation number could be brought without difficulty up to a couple of hundred thousand oscillations per second (similar to those obtained with the ordinary oscillator) and had an intensity that made their use for wireless telegraphy possible.

As we shall see in more detail later, Poulsen quickly proceeded to the practical use of his electric arc as a transmitter in wireless telegraphy. Here, however, it may be appropriate to briefly mention how the electric arc was initially applied for such a use. The oscillations generated in the closed oscillating circuit CL (Fig. 375) can, by suitable variation of the capacitance C and the self-induction L, be caused to assume any of the high oscillation numbers customary in wireless telegraphy, e.g. 500,000 (corresponding to a wavelength of 600 m.). In the usual inductive manner these oscillations are then transferred to the antenna, by connecting a primary coil in the closed capacitor circuit and a

secondary coil in the antenna. The actual signaling and reception of the undamped oscillations will be explained later.

§ 9. Other researchers' experiments with the electric arc.

Besides Poulsen, other researchers have also turned their attention to the method of converting or transferring direct current to alternating current with the help of the electric arc and the closed capacitor circuit and using the oscillations thus generated for wireless telegraphy and telephony. In general, these researchers began to appear after Poulsen filed his first patent application in 1902.

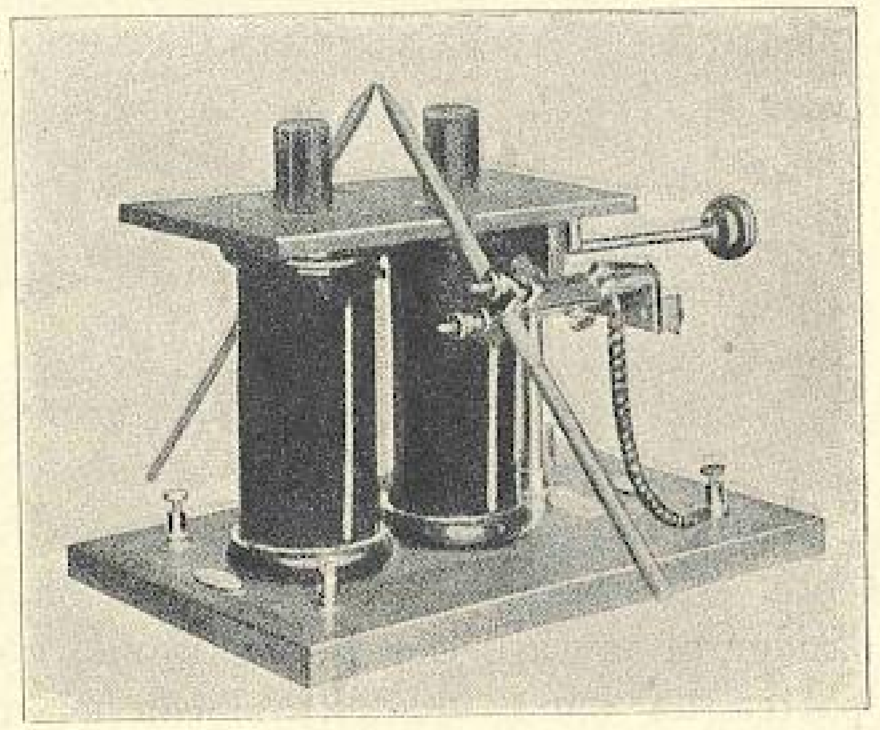


Fig. 376. Ruhmer's so-called arc interrupter.

E. RUHMER, known from his detailed investigations of selenium and the construction of selenium cells, states in his work Wireless Telephony»,[1] that he was already busy with experiments in this field in 1903. In any case, the following year, notices of Ruhmer's experiments are given in >>Bericht über die Ausstellung des Elektrotechn. Vereins von 22-27 Nov. 1904». Like Poulsen, he uses in his arc a transverse magnetic field to deflect the arc to the side (see Fig. 376). However, the arc is formed here between ordinary arc carbons, which are set at an angle to each other and are not surrounded by any special gas other than air. The distance between the carbons can be regulated by a simple adjustment device. In addition, this arc, like Duddell's and Poulsen's, is connected to the closed swing-
Since this device was a means of easily interrupting the current from a direct current generator 50 to 60 thousand times a second, Ruhmer proposed that it be used in wireless telegraphy simply as an interrupter of the primary current to

1 Wireless Telephony by E. Ruhmer, translated into English by J. Erskine-See also
See p. 185. E. T. Z., Vol. 26, p. 382 (1905). Murray (1908).

an inductor (see Fig. 377). The apparatus in Figs. 376 and 377 has therefore been called by Ruhmer an arc interrupter.

Ruhmer's work and the practical results thereof fall mainly within the special field of wireless telephony,

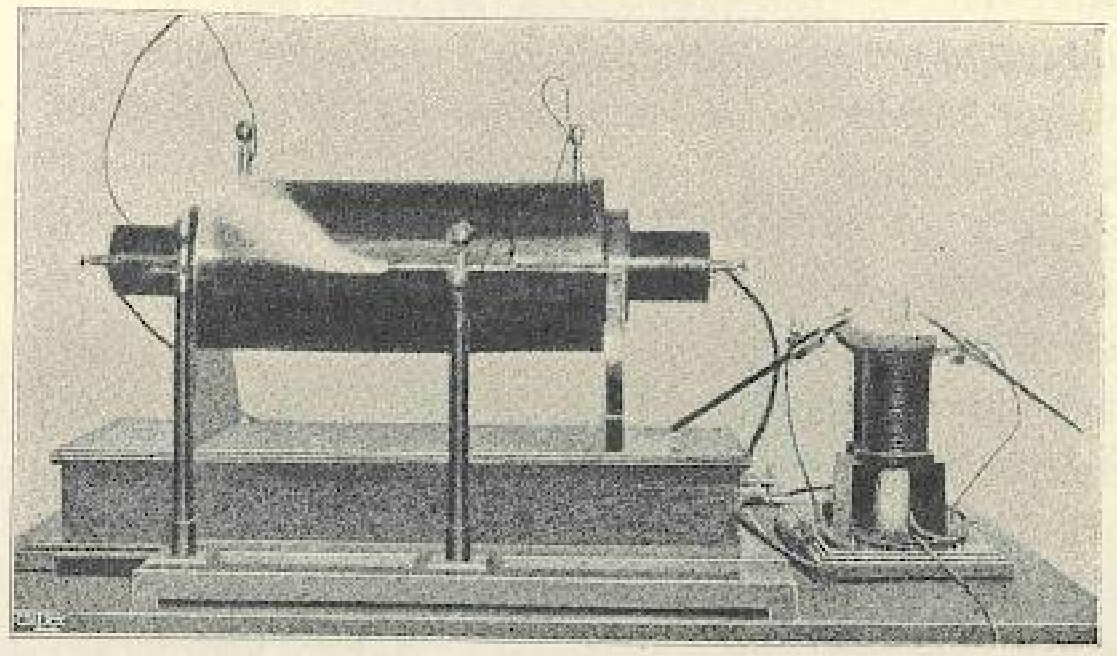


Fig. 377. Ruhmer's arc interrupter in combination with an inductor.

why a more detailed account of them is not given in this work. It may be mentioned, however, that he later switched to metal electrodes, both for anodes and cathodes. First the two carbon electrodes were replaced by aluminum rods. Later the anode was replaced by copper, and the cathode took the form of a sharp-edged aluminum rod, which was set in slow rotation.

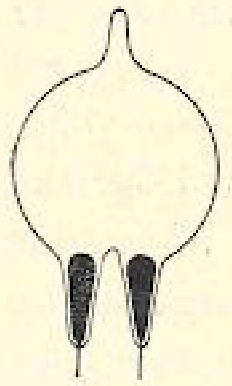


Fig. 378. Coo-per-Hewitt's mercury lamp.

Another variation of the arc between metal electrodes is found in the so-called COOPER-HEWITTS mercury lamp[1] (see Fig. 378). This mercury lamp consists of an airless glass balloon, provided with two extension tubes, which are filled with mercury to a suitable height; a platinum electrode, melted in each tube, is immersed in the mercury from below. If such a lamp is now introduced in place of the arc in Duddell's or Poulsen's devices, an arc arises between the two mercury surfaces with an intense glow characteristic of the incandescent mercury vapors in a vacuum.

The actual generation of the arc, however, does not proceed without further ado. The void between the electrodes prevents the arc from starting, for which reason one must either use a special source of electricity that has a higher voltage than that of the

[1] El. Review, Bd. 42, sid. 264 (1903).

The maintenance of the arc itself, the direct current source usually used, must first send a high-voltage current through the lamp, before the usual less high-voltage direct current source can be used to feed the arc, or also, which is sufficient, must tilt the lamp itself (when the direct current is connected), so that the mercury from one leg flows over to the other, in which case the arc can also be caused to ignite. Once this has been done, the arc burns in an atmosphere where the gas of the vaporized mercury is conductive to the current. With the arc under such conditions excited and maintained and the mercury lamp connected to the other closed oscillating circuit, the lamp is able to transform the direct current into alternating current, like Poulsen's arc. If, however, the current is interrupted for a moment or falls below a certain limit, or if the glass bulb is cooled from the outside, the mercury gas condenses, which occurs particularly easily when the glass bulb has a large surface area. To then re-establish the arc is more difficult and requires an increased discharge voltage, since with the previous combustion the vacuum in the bulb has increased more and more. Thus, with these lamps, after a period of use, a discharge potential of 45,000 to 50,000 volts may be required to restore the arc. C + W R1

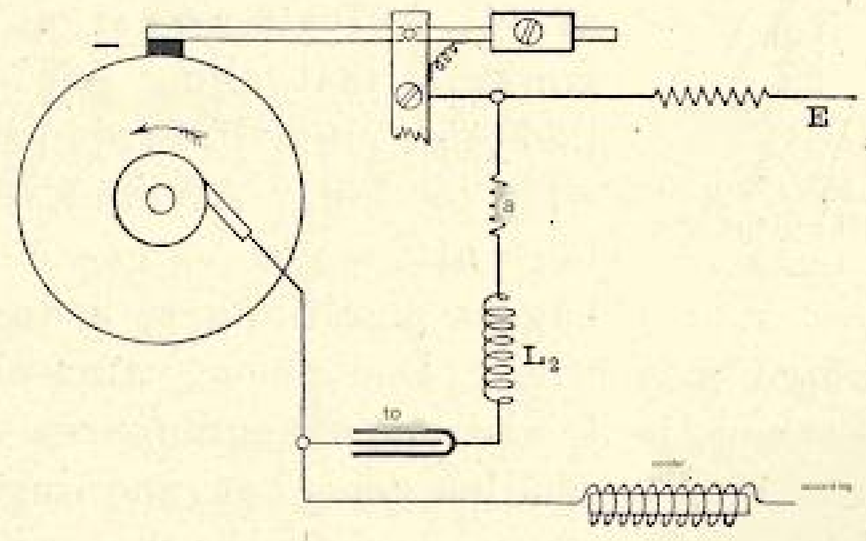


Fig. 379. S. G. Brown's device.

This difficulty in producing arcs in mercury lamps has, of course, also constituted an obstacle to their practical use in wireless telegraphy. In particular, SIMON and REICH, 1 VAL-BREUZE, PIERCE have subjected mercury lamps to an investigation in order to ascertain the suitability of their application to the arc method. Their work in this respect, however, did not lead to any positive results.

[1] Phys. Zeitschr., Bd. 4, s. 364 o. 737, 1903.
[2] Eclair. El., Bd. 36, s. 81, 1903.
[3] Proc. Amer. Acad. of Sc., Bd. 39, s. 389, 1904: »On the Cooper-Hewitt mercury interrupter».

hungry, which is why we limit ourselves to merely referring to where a more detailed account of this can be obtained.

Shortly after Poulsen's publication of his system in the autumn of 1906, S. G. BROWN[1] described a device of the appearance shown in Fig. 379. It differs from Duddell's device in that instead of the electric arc there is a variable contact between a rotating aluminium disc W and a piece of copper shaped to its periphery, which is attached at one end to a lever and well balanced by a counterweight, so that the pressure against the periphery is reduced to a minimum. The aluminium disc, which constitutes the positive electrode, is allowed to dip its lower part into a container of cooling water during the slow rotation. The whole device is also enclosed in a vessel of compressed air, whereby, according to Brown, the effect is increased in the conversion of the direct current into alternating current.

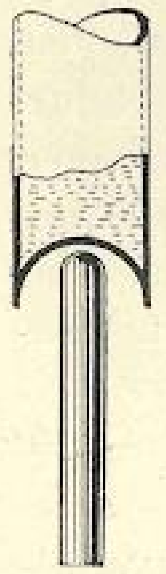


Fig. 380. Hahnemann's arc.

At the same time as Brown, HAHNEMANN published his experiments in this field in the Elektrotechn. Zeitschr. (22 Nov. 1906). His device is more similar to Poulsen's. He uses an electric arc and the usual closed capacitor or alternating current circuit. The electric arc burns between electrodes, of which the positive one consists of a cooling water vessel made of copper with its bottom surface concavely inwardly curved (Fig. 380). Into this depression the negative electrode, which consists of carbon, projects from below. The difference from Poulsen's electric arc is here that no hydrogen gas or other gas atmosphere in the surroundings of the electric arc is found to be necessary, nor is any magnetic field. The intensity of the oscillations generated, increased by the application of hydrogen gas, appears according to Hahnemann to be obtainable also by the use of several electric arcs connected in series. In fact, a similar device was put to use by the Gesellschaft f. drahtl. Telegraphie» within the Telefunken system in their experiments with the arc telephone.

C. The explanation of Duddell's phenomenon and Poulsen's arc.

§ 10. The resistance in the arc.

As soon as there is a question of a metallic conductor for electricity and a direct current through it, there is always a certain relation

[1] Electrician, Vol. 58, p. 201, 1906: On a method of producing continuous high frequency electric oscillations.>

the current in the line and the voltage between the ends of the conductor. If this voltage is varied, for example by allowing the voltage to grow, the current developed in the line is varied proportionally. In each particular case, the voltage as well as the current can be measured and the different values obtained 0 Amp. The abscissa indicates the current and the ordinate the voltage. introduced into a coordinate system, where curve is obtained, which in this case assumes the form of a straight line, which starts from the origin and with the abscissa

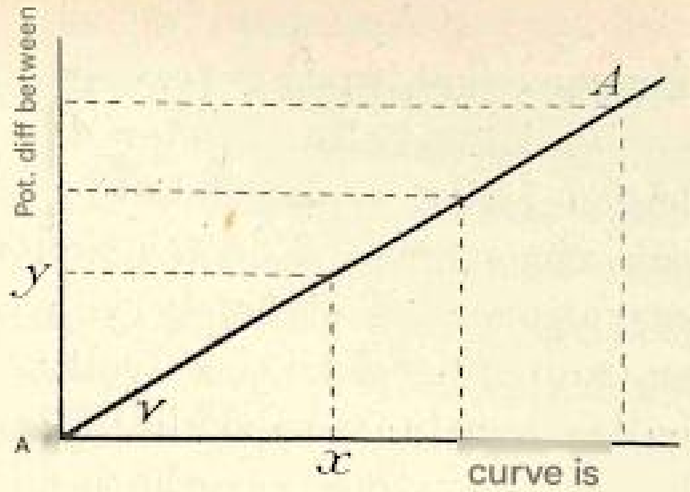


Fig. 381. Rising characteristic at ordinary direct current.

forms a certain angle, v. (See Fig. 381.) From Ohm's law $= \left(\frac{\text{volt}}{\text{amp}}\right)$ of resistance, the equality between, on the one hand, the resistance in the conductor and, on the other hand, the ratio between the voltage and the current strength is derived. The curve OA, which represents this ratio between voltage and current strength, is called the characteristic. The slope of the characteristic to the x-axis, the angle v, gives information about the resistance in the conductor, since $\mathrm{tg}v = \frac{y}{x} = \frac{\text{volts}}{\text{amp}} = \text{ohm}$.

What has been stated above applies to direct current in conductors of metal, in which case the characteristic is thus a continuously increasing one,

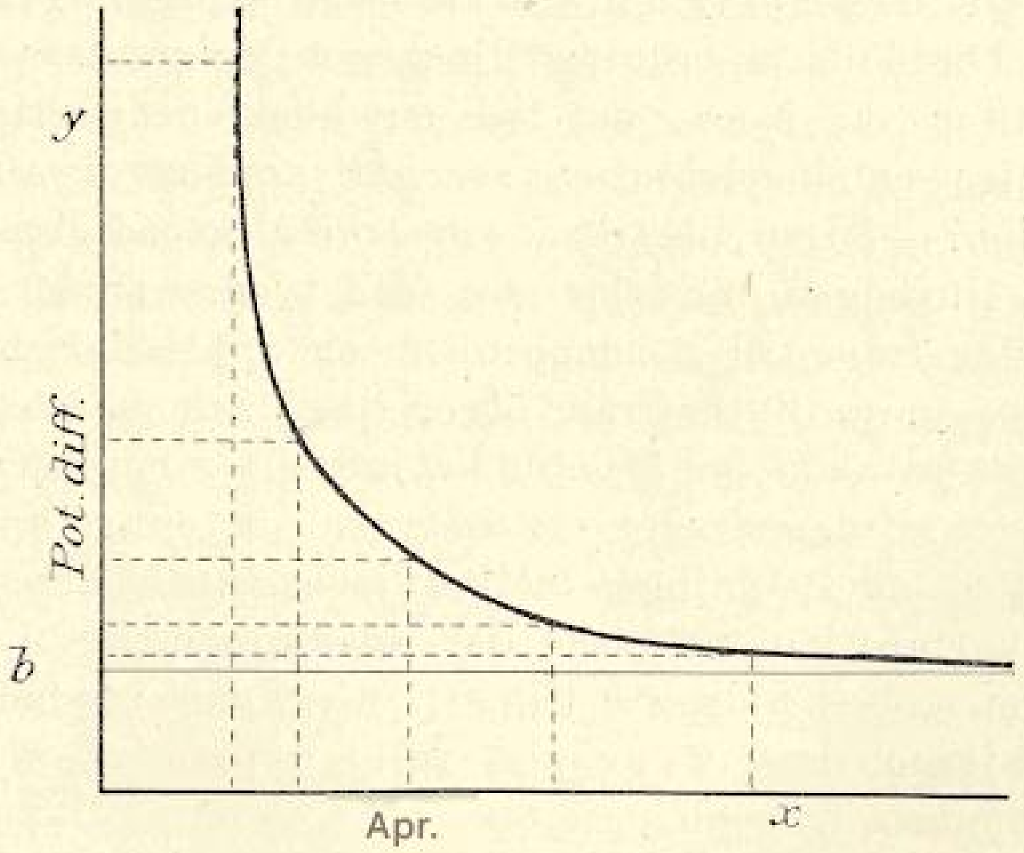


Fig. 382. Falling characteristic at the arc. Static characteristic.

straight line. The characteristic of the arc is different. Every single arc, for example an ordinary carbon arc, fed by a direct current source, exhibits the property that the current strength in the arc falls, while the voltage between its electrodes increases, and vice versa. If we undertake to confirm this a series of observations of the current strength and the voltage between the carbons (by means of an ammeter and a voltmeter, respectively), while the length of the arc is kept constant, we will find that, if we introduce these values into a coordinate system, we obtain in the form of a straight line a curve with an appearance similar to that shown in Fig. 382. Here the curve falls with increasing x-values, which is why this characteristic, in contrast to that shown in Fig. 381, is called a falling characteristic. We thus establish that the resistance in the direct current arc deviates from Ohm's law.

It was especially the well-known English female physicist MRS. AYRTON,[1] who carried out the investigations into these characteristics of the electric arc and established the falling, deflected form of the curves. Ayrton's investigations were carried out with an electric arc between carbon electrodes, but later L. W. UPSON has shown that arcs between electrodes of different metals and in different gases behave in a similar way.

§ 11. The oscillation process in the arc.

We shall here consider how one imagines the origin of the electrical oscillations in the oscillating circuit, CBL, in which the arc is connected in Duddell's device (Fig. 374). What happens, in other words, when a capacitor is connected to a direct current arc on both sides, which is connected in series with a self-induction? The direct current that flows from the source of electricity over the arc is then divided into two parts, one of which flows over the capacitor and charges it, while the other flows over the arc. The current over the arc has thus for the moment decreased in current strength. But a consequence of a decrease in current strength is, according to the curve diagram in Fig. 382, that the voltage between the electrodes of the arc or, —
In short, the voltage of the arc is increased, which only serves — to further charge the capacitor. When the capacitor is fully charged, no part of the current from the electrical source flows to the capacitor.

1 AYRTON, The Electric Arc, London, 1902, p. 102. 2 L. W. UPSON. Cf. p. 86, Jahrb, d. drahti. Telegraph, Vol. 1 (1907).

with the consequence that the current through the arc begins to increase again, whereby the voltage of the arc falls. At the same time the charged capacitor begins to discharge through the arc and to increase the current through it even more, whereby a further drop in the voltage between the electrodes of the arc is caused. The current from the capacitor has been forced to take its path only through the arc, since it has been prevented by the Weller resistor, or rather the self-induction coil S, from flowing through the line of the direct current source. (Cf. Fig. 374.) Due to the self-induction of the coil L connected in series with the capacitor and the arc, which self-induction corresponds in dynamics to inertia, the capacitor not only discharges completely through the arc, but also
but continues to flow forward and begins to charge the capacitor in the opposite direction. The capacitor here draws current from the arc, the current strength of which thereby falls, whereby its voltage rises again. When the capacitor in the new direction has been charged, a discharge occurs back through the arc. The capacitor charges itself again in the first-mentioned direction, after which the same process repeats itself. The capacitor's mode of action can thus be said to be to alternately draw a part of the direct current from the arc and then leave this part again. We can also say that during the oscillation process in the arc one can distinguish, on the one hand, a direct current which flows forward through the arc in one direction and only takes place in the circuit of the direct current source WBS (Fig. 374), and on the other hand, an alternating current which is stored over the direct current arc and only takes place in the capacitor circuit CBL. The explanation for the fact that in Duddell's device a musical tone was produced in the arc itself was found to be that the current strength in the arc, as we have learned above, was alternately increased and decreased. Since when the current increases more energy is supplied to the arc, its thickness or volume also becomes greater, and when the current decreases its thickness becomes less. These alternating changes in volume cause the surrounding air to oscillate, whereby a tone is produced, with the same oscillation frequency as the number of current changes in the arc. The condition for the tone to appear is thus that the oscillation frequency determined by the capacitance C and the self-induction L must lie within the limit of the oscillation frequency of an audible tone.

The arc phenomenon has its analogy in acoustics in the generation of the tone of a closed lip pipe. Briefly explained, the pre-1

The voltage between the two plates of the capacitor can be much greater than the voltage between the electrodes of the arc. The voltage of the capacitor can thus amount to 1,000 to 1,500 volts, while the voltage of the arc is only, for example, 220 to 300 volts.

has made such a rapid development career in terms of the system's range that it has reached the same distances of a couple of thousand kilometers from an insignificant distance of a mile or so, as was possible with the older spark systems.

A more general knowledge of the Poulsen system within professional circles was first gained through the remarkable and novel lecture that Poulsen himself gave on his new system before the Elektrotechnischer Verein in Berlin on October 23, 1906.[1] This society was then gathered for a ceremonial meeting in connection with the then ongoing international congress for wireless telegraphy, which had been convened in the German capital under the patronage of the German Emperor. Poulsen's lecture was in a way to be regarded as a part of the congress's negotiations, and the novelties in wireless telegraphy that the inventor had to announce to an audience of both German and foreign experts in the field, according to contemporary testimony, aroused general admiration, which also found a more lasting expression in the professional press and the daily newspapers in all countries.

After the said lecture, Poulsen's patent on the system was sold to the English company The Amalgamated Radio Telegraph Company, Ltd., with rights of use for the whole world except for the United States of America. For the exploitation of the Poulsen patents in the latter country, a special American company was formed: The Poulsen Wireless Telegraph and Telephone Company. The rights of the aforementioned English company were later restricted to cover only Great Britain and its colonies, including Canada. The patent rights thus released for all countries, except the United States, Great Britain and its colonies, were transferred to the Continental Syndicate for Poulsen Radio-Telegraph in Copenhagen. Later, this syndicate sold the patent rights for Germany to C. Lorenz' Aktiengesellschaft in Berlin and for Austria-Hungary and the Balkan states to Telefonfabrik-Aktiengesellschaft, formerly J. Berliner in Vienna.

In an account of Poulsen's system it would be remiss not to mention Poulsen's compatriot, Associate Professor P. O. PEDERSEN, who has been helpful to him for many years in the development of his system. Associate Professor Pedersen is the designer of the "quick signal generator" used in Poulsen's system for speed telegraphy, of which apparatus we will give a description later in the following.

[1] Poulsen's lecture in question is printed in E.T.Z. 1906, issue 45, page 1029.

§ 18. The principle of sending and receiving in the Poulsen system.

a) In the case of spark systems, as is well known, we were dealing with a sequence of discharges across the spark gap or spark gap at the sender, which gave rise to a sequence of oscillation trains with high initial amplitudes, which decayed more or less rapidly. (Cf. Figs. 369 and 370.) In the case of Poulsen's arc transmitter, on the other hand, the oscillations are continuous with comparatively small amplitudes, which, however, do not decay but retain their magnitude unchanged. (Cf. Fig. 368.) In oscillations of the first-mentioned type, with large but rapidly decaying initial amplitudes, it is mainly the effect of the voltage that is utilized at the receiver, and the receiver is usually provided with coherers in such cases. It can be said that in such oscillations the higher voltage of only the first or one of the first larger voltage amplitudes of the incident oscillation train, while the subsequent smaller amplitudes are too small for their voltage to be utilized. Under such conditions it is obvious that in the case of continuous undamped oscillations, which have only comparatively small but constant voltage amplitudes, one must try to utilize the total or so-called integral (summed) current effect of the incident oscillations. We will soon have the opportunity to learn how this is achieved in the receiver within the Poulsen system according to a new principle. C N S B-D W J

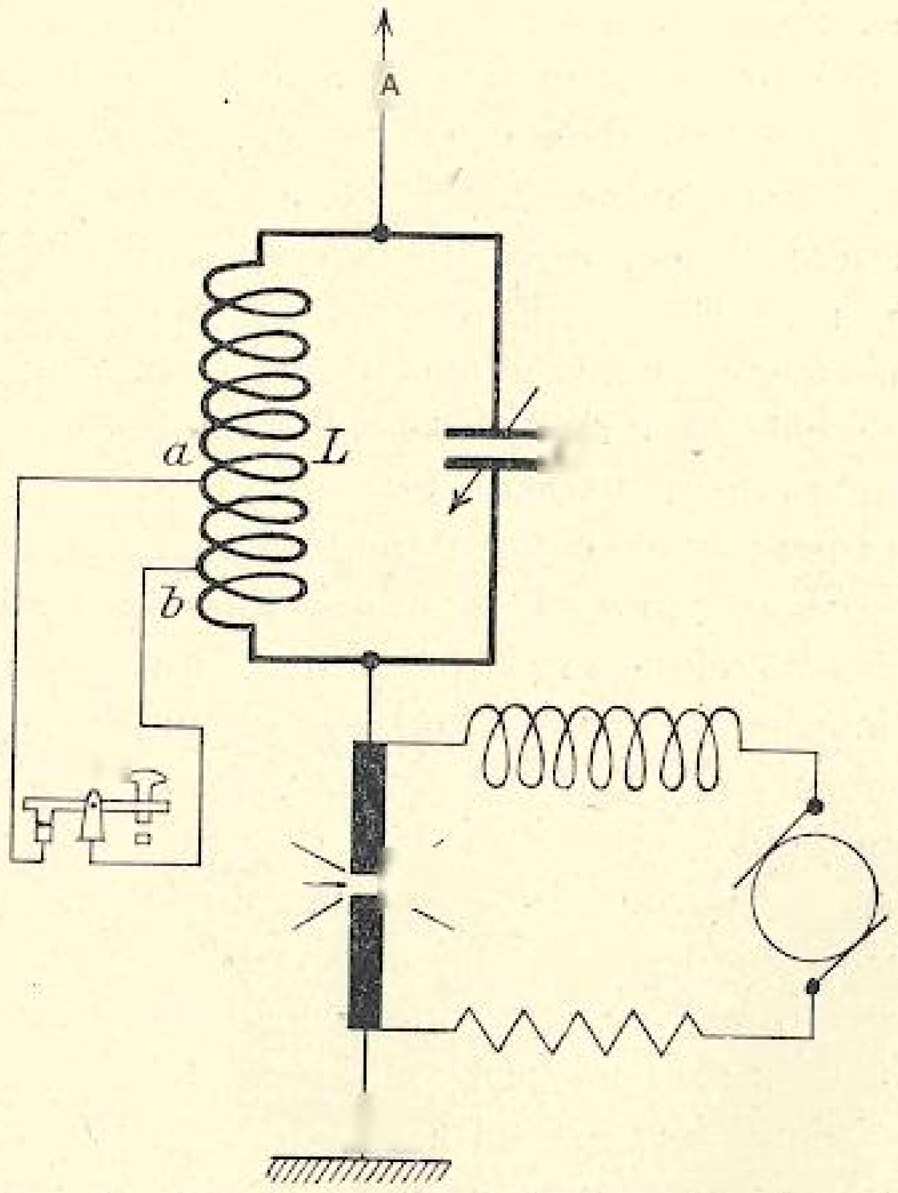


Fig. 390. Main circuit diagram for a Poulsen transmitter. Telegraphy.

First, however, we shall dwell on the composition of the sender.

We have already indicated in Fig. 375 a connection for generating continuous oscillations in the sender's antenna with the help of the arc. It was mainly at the beginning of the system that this connection came into use. This connection essentially consists in the fact that the arc together with a capacitor and a self-induction coil forms a closed oscillating circuit, and from this circuit the continuous oscillations are transferred to the antenna by either the self-induction coil (as in Fig. 375) being allowed to constitute the primary coil of an antenna transformer, the secondary coil of which is connected between the antenna and the earth (inductive connection), or the self-induction coil of the arc circuit is connected directly between the antenna and the earth (direct connection).

Nowadays, however, a connection is more commonly used in Poulsen's system, the nature of which is shown in the diagram in Fig. 390. The arc does not form a closed circuit here, as in the previous case, together with the capacitance and self-induction, but instead only the capacitance (C) and the self-induction (L) together form a closed circuit, which on the one hand is directly connected to the antenna and on the other hand is connected to the earth via the arc (B). The direct current which feeds the arc is supplied to the arc from a dynamo D via a variable resistor W and a coil of high self-induction, S. By means of this arrangement, the circuit CL is set in continuous oscillations while the arc burns, and these oscillations are transmitted directly to the antenna. The advantages of the connection in Fig. 390 are stated to be quite considerable. Through the very fixed connection between the oscillating circuit and the antenna, the oscillating energy can be transferred with very little loss and while producing a comparatively very low voltage in the antenna, not more than 400 to 500 volts. The capacity in Poulsen's system is no longer an energy factor as in spark systems, but is merely wavelength-forming in its effect. This has the advantage that as a capacitor at the sender, an easily handled and adjustable smaller plate capacitor can be used, similar to that which occurs at the receiver in spark systems. Likewise, the insulation of the various parts of the apparatus is easier to implement, since the voltage is not so high. Furthermore, the connection in Fig. 390 has the considerable advantage that, although it is very fixed, the two coupling waves that otherwise occur with fixed connection in spark systems do not occur. The adjustment of the antenna to a specific wavelength is very easy to perform and is accomplished by adjusting either the capacitor C or the inductor L. The

The signal at the Poulsen sender in Fig. 390 is given by pressing the key N. However, we will only describe the more detailed effect of this later in § 22.

We consider here how the continuous waves emitted from a Poulsen transmitter can be made detectable at a Poulsen receiver. We have already mentioned that, since the voltage of the continuous oscillations is small, it is necessary to utilize the current effect at the receiver. This is done in the following way. See the circuit diagram in Fig. 391. In the usual way, the primary winding P of a receiving transformer is located between the antenna and the ground. The secondary winding S of this transformer

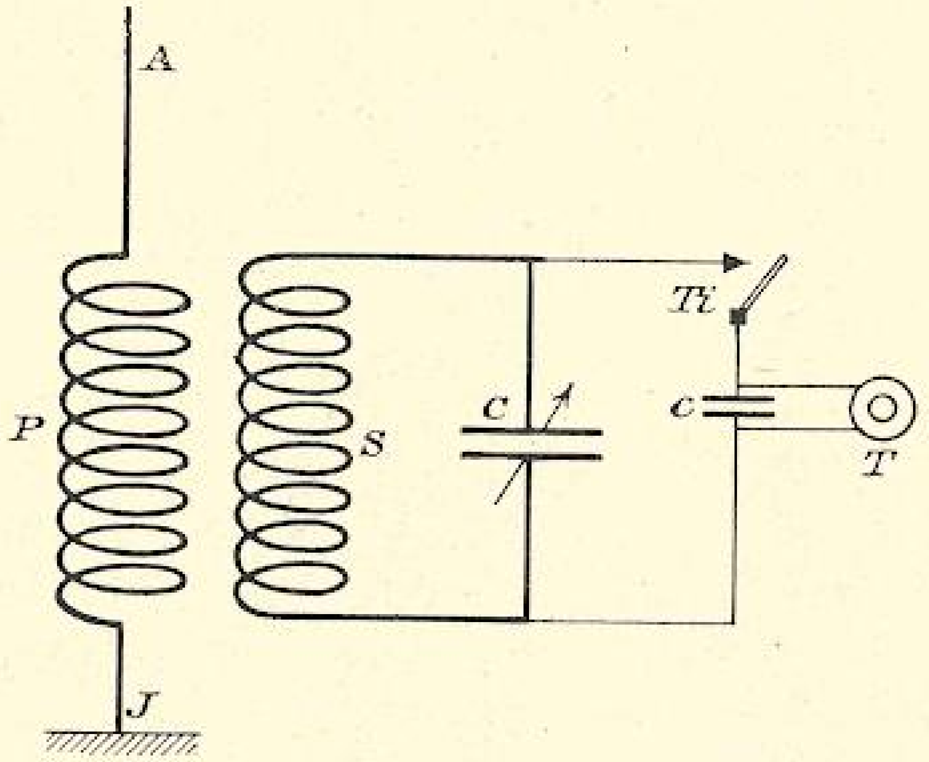


Fig. 391. Main wiring diagram for a Poulsen receiver with ticker. Telegraphy.

The former is connected in series with a capacitor C and forms with it a closed oscillating circuit CS, which is tuned to the antenna circuit by means of the capacitor C, which is adjustable. In parallel with the capacitor C is now connected another circuit CTic, containing a fast-acting switch Ti, called a ticker» (Danish name), and a small earphone capacitor c. In the receiver in Fig. 391 we thus distinguish three circuits: the antenna circuit APJ, the closed capacitor circuit CS and the ticker circuit CTic. If we now wish to study the oscillation process in these three circuits, when continuous and undamped oscillations from outside are incident on and arise in the antenna, the oscillation curves shown in Fig. 392 serve to illustrate this. Curve I represents the continuous oscillations in the antenna; curve II the oscillations in the circuit CS

which have a characteristic and speech-consistent irregularity, affect the continuous, regular and consequently, so to speak, characterless high-frequency intensity variations, so that they are given the character of speech. Or one could also express this relationship in such a way that the speech oscillations are superimposed on the continuous oscillations in the antenna, and that electromagnetic oscillations emanate from the antenna, which have a constant high frequency due to the self-induction and capacity of the antenna and at the same time a variable characteristic low frequency due to the resistance variations in the microphone.

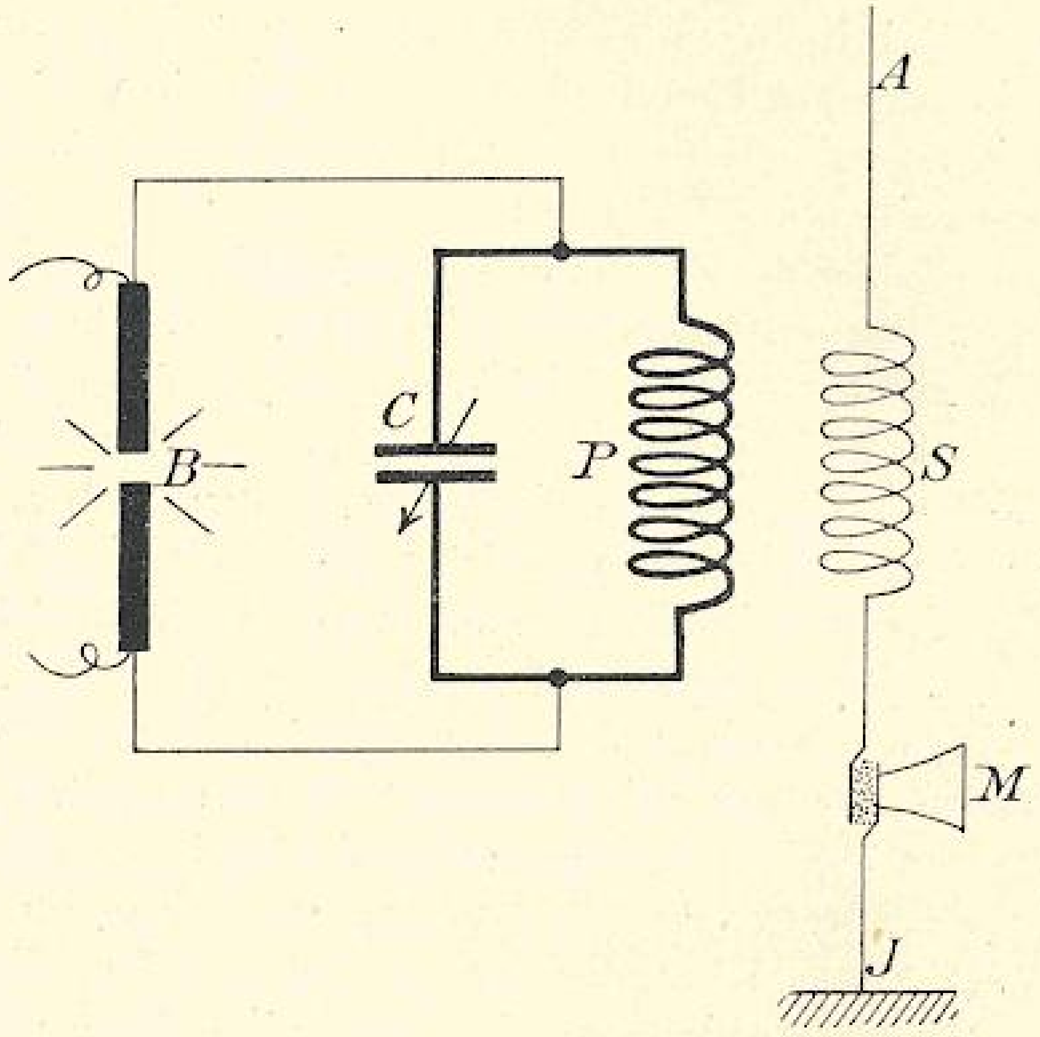


Fig. 393. Main wiring diagram for a Poulsen transmitter. Telephony.

When the transmitter is used for wireless telephony, it has proven most suitable to apply an inductive coupling between the antenna and the closed circuit composed of capacitance and self-induction (see Fig. 393). The reason why the direct coupling, with the arc connected directly to the antenna (Fig. 390), has not been found to be so suitable for wireless telephony is that the energy conditions in the antenna with this coupling are fairly stable, i.e. it is more difficult to produce a variation in them. The rather insignificant variations in intensity that the microphone produces due to speech are more easily equalized by newly supplied energy from the arc,

if the arc is directly connected to the antenna, than if it is in another circuit, which is loosely connected to the antenna. In addition, in the case of direct connection, any irregularities occur more easily in the antenna due to irregularities in the arc burning, and such irregularities, if they occur, cause the speech in the receiver to be heard accompanied by certain unclear extraneous noises. - If, on the other hand, the arc is connected inductively to the antenna in the manner illustrated in Fig. 393 and the connection is made relatively loose, then the influence of these irregularities on the oscillations in the antenna and the extraneous noises in the receiver's earphone is to a considerable extent excluded. In addition, the energy transferred from the arc circuit to the antenna becomes rather labile, i.e. it is easier to produce a variation in. Each counter-

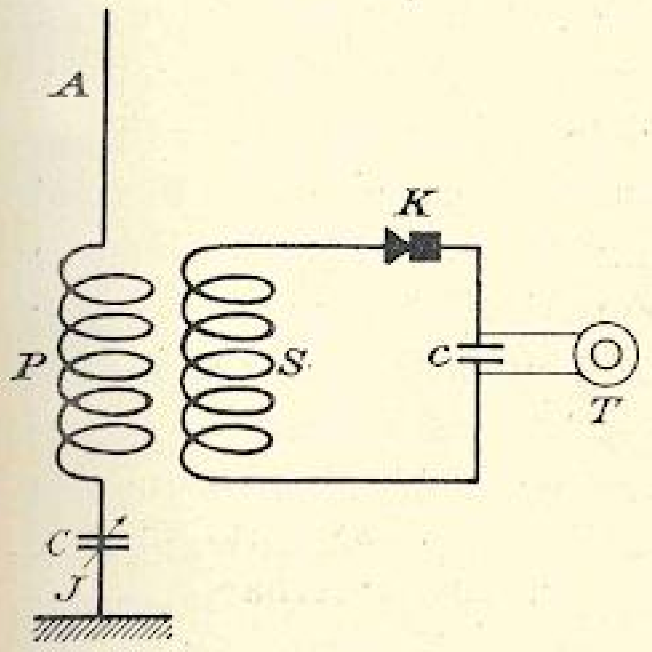


Fig. 394 a.

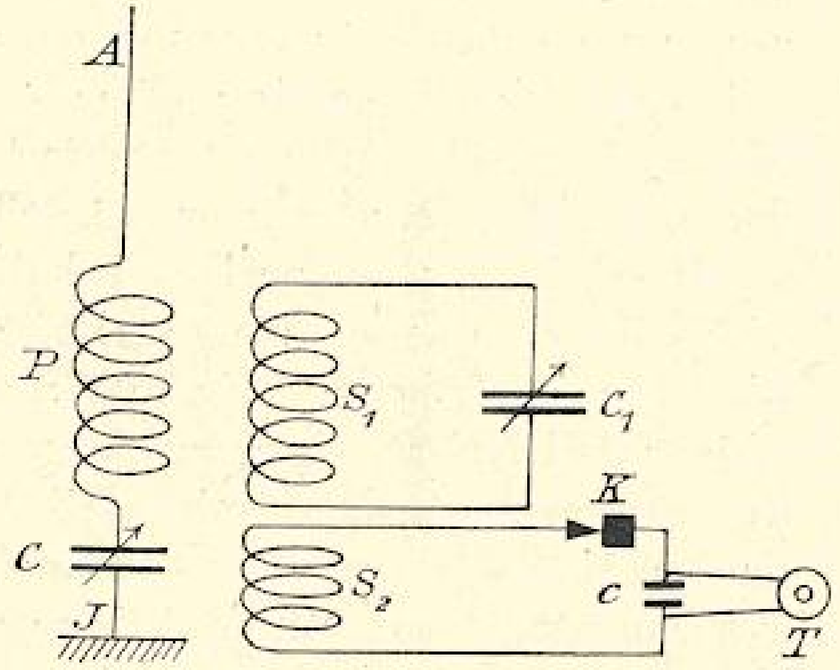


Fig. 394 b.

Main wiring diagram for a Poulsen receiver with contact detector. Telephony and telegraphy.

The change in position, which is caused by the speech in the microphone connected directly to the antenna, then results in a clear intensity variation in the oscillations, which is not so easily equalized by newly supplied energy from the arc circuit.

If one thus directs speech towards the microphone M of the device in Fig. 393, at the same time as the arc B burns and produces continuous oscillations in the antenna A, then the spoken words can be transferred in the form of characteristic intensity variations stored above the continuous oscillations to the antenna of a receiver and there produce analog oscillations. To make these speech sound oscillations perceptible, however, a ticker device is obviously not sufficient, which would instead break up and make these oscillations completely unintelligible. When the receiver

is to be used for wireless telephony, a device other than the ticker is therefore required. In this case, a receiving circuit with a rectifying contact detector, consisting of a single contact between tellurium and galena (§ 25), is used.

In Fig. 394 two types of connection are demonstrated, in which the contact detector can be used: Fig. a is a simpler and Fig. b a somewhat more complicated connection diagram. If we consider at first the simpler diagram in Fig. 394 a, then here, at the open antenna circuit APCJ, a closed aperiodic circuit is inductively connected, composed of the secondary winding of the transformer P-S, the contact detector K and the constant capacitor c, to which the earphone T is later connected in parallel. Due to the absence in the closed circuit of a controllable capacitor, this circuit can certainly absorb energy from the antenna circuit, but any actual tuning according to the antenna circuit cannot take place. In this case, the receiver is tuned to the incident waves only by means of the self-induction and capacitance of the antenna circuit. Due to the extraordinary simplicity of the device, it can be considered in cases where freedom from interference is not given too much importance. Tuning only the antenna has in some such cases proven to be practically sufficient. However, when greater demands are made on freedom from interference, a closed tunable oscillating circuit is introduced between the antenna and the aperiodic circuit, consisting of a self-induction coil S_1 and an adjustable capacitance C_1 (see Fig. 394 b). The oscillations from the antenna are then first transferred to this tuned circuit and from there to the aperiodic detector circuit. This does indeed make the sound in the earphone somewhat weaker, but the receiver's tuning sharpness and ability to exclude interfering influences are considerably increased. The latter connection, however, involves greater difficulty than the simple, easy-to-handle one in Fig. 394 a.

When the connections in Fig. 394 are used for reception in wireless telephony, the characteristic speech-sound oscillations incident on the antenna are rectified in the detector circuit and are triggered into a direct current with intensity changes that correspond to the intensity variations caused by the speech in the sender's microphone. From this, the membrane in the receiver's earphone is set into corresponding oscillations, and the sound spoken in the sender's microphone is actually reproduced just as in an ordinary earphone.

When the same connections are used for reception in telegraphy, where other than continuous oscillations are involved at the sender, the incident impulses are heard as longer or

shorter sounds in the earphone in accordance with Morse code.

After our account of the main principle of telegraphy and telephony within Poulsen's system, we now turn to taking a closer look at the various devices used for this purpose.

A. Sender devices.

§ 19. The arc generator.

most characteristic apparatus in Poulsen's system is the specially designed arc generator. We have already learned in the preceding section how this arc, thanks to certain physical aids, such as the cooling of the copper anode, rotations of the carbon cathode, the combustion of the arc in a suitable gas atmosphere and its arrangement in a transverse magnetic field, could be utilized to generate high-frequency oscillations, which have a sufficiently continuous and regular course and at the same time are sufficiently intense to be used in both wireless telegraphy and wireless telephony. It is sometimes customary to make a distinction between the terms arc and arc generator or Poulsen generator and the latter term is used to designate a device in which the arc, together with the electromagnets which produce the magnetic field and the gas chamber which surrounds the arc, are combined into one.

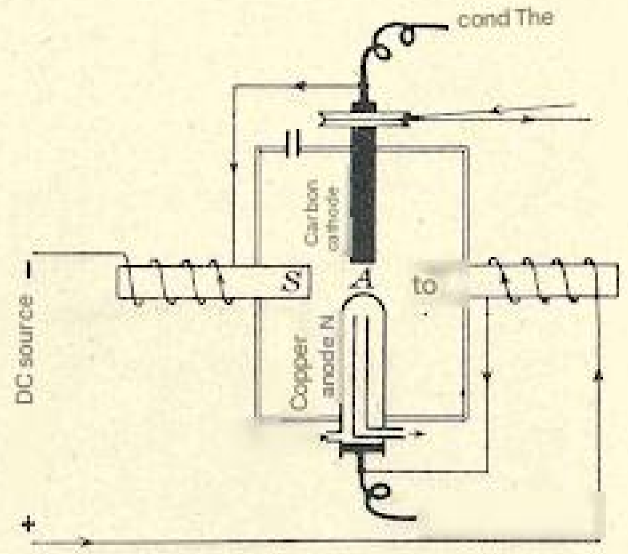


Fig. 395.

brought to a common apparatus.

Such Poulsen generators naturally come in different sizes, depending on whether it is necessary to deliver larger or smaller amounts of energy to the antenna for telegraphy over larger or smaller distances. The diagram in Fig. 395, however, is mainly based on

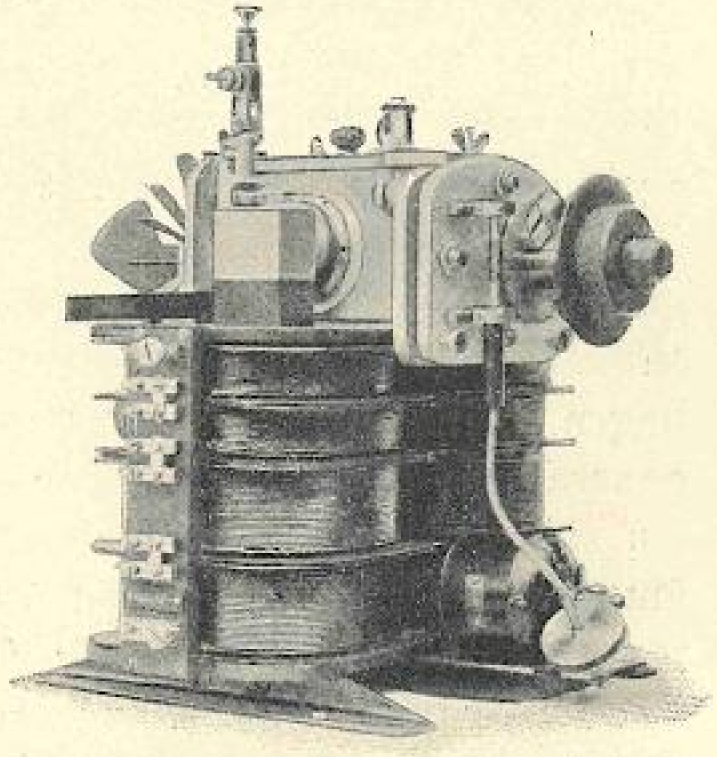


Fig. 396. Poulsen generator, 4 à 5 kw.

for the construction of both larger and smaller arc generators. We will consider some such generator types below.

In Fig. 396 an arc generator of 4 to 5 kilowatts is shown. By a generator of 4 to 5 kw. we understand an arc which is capable of generating alternating current or oscillation energy with the mentioned kilowatt number from the supplied direct current energy. In the arc generator in Fig. 396 the windings of the two electromagnets which generate the transverse magnetic field in which the arc burns are most striking. These electromagnet windings receive their current from the direct current source, and, as we have previously described, it is the same direct current which passes through

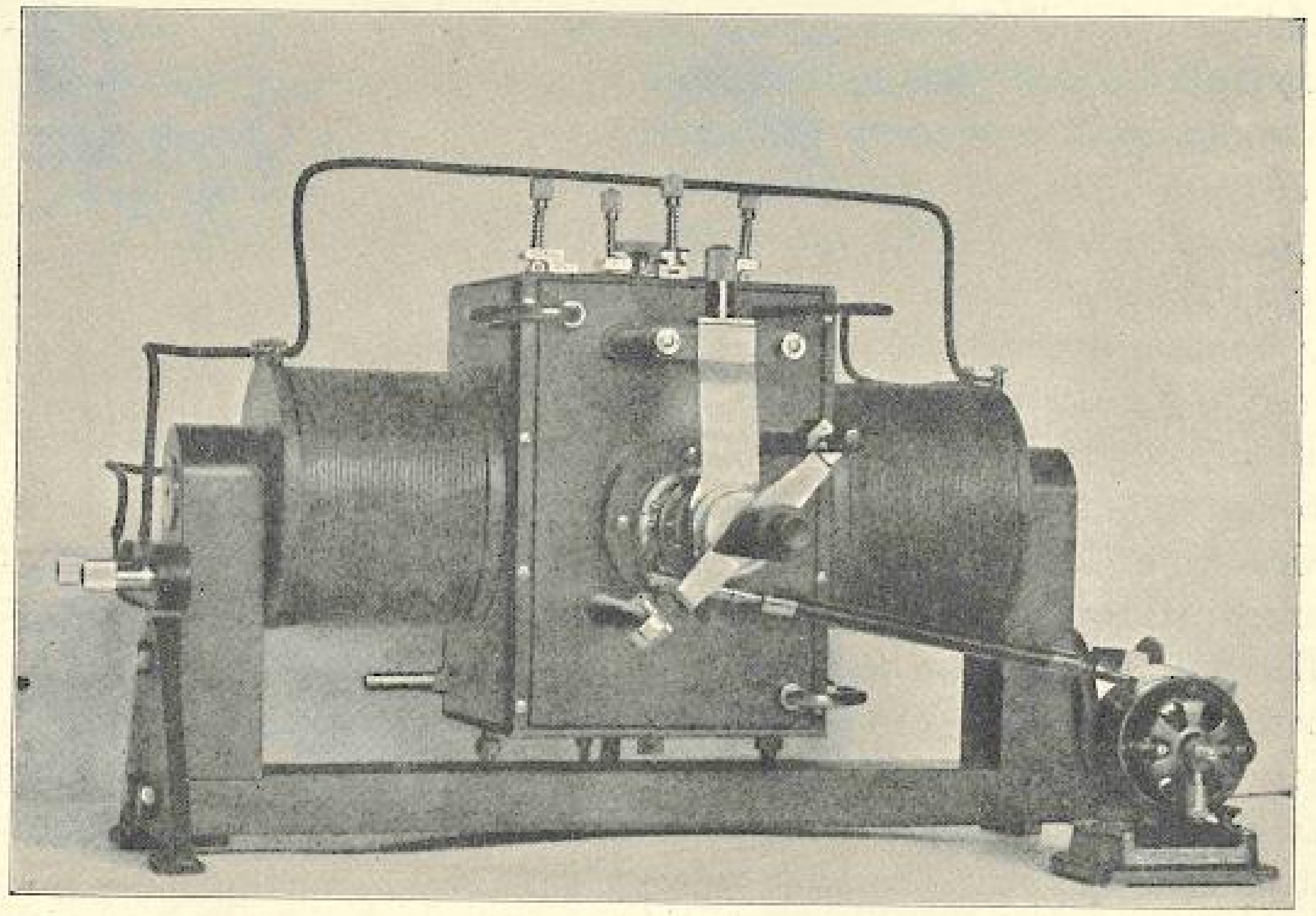


Fig. 397. Poulsengenerator, 12 kw.

through the arc. In order that the magnetic field may be made weaker or stronger, the windings are, as the figure shows, divided into certain groups, one or more of which can be connected in series with each other as desired. The arc itself burns in a gas chamber, and this is visible at the top of the generator in Fig. 396. Into this, the two electrodes, as well as the two pole pieces, which the electromagnets support, protrude through the wall from each side. One of the arc electrodes, the rotating carbon cathode, protrudes into the gas chamber from the side which in the figure faces the viewer, and here is also seen the electric motor which keeps the cathode in rotation by means of a transmission device. This motor draws its current directly from the same direct-current

source such as the electric arc and the electromagnets. The carbon cathode is provided at its outer end with a knob of hard rubber or fiber together with a circular plate of the same material. By turning the

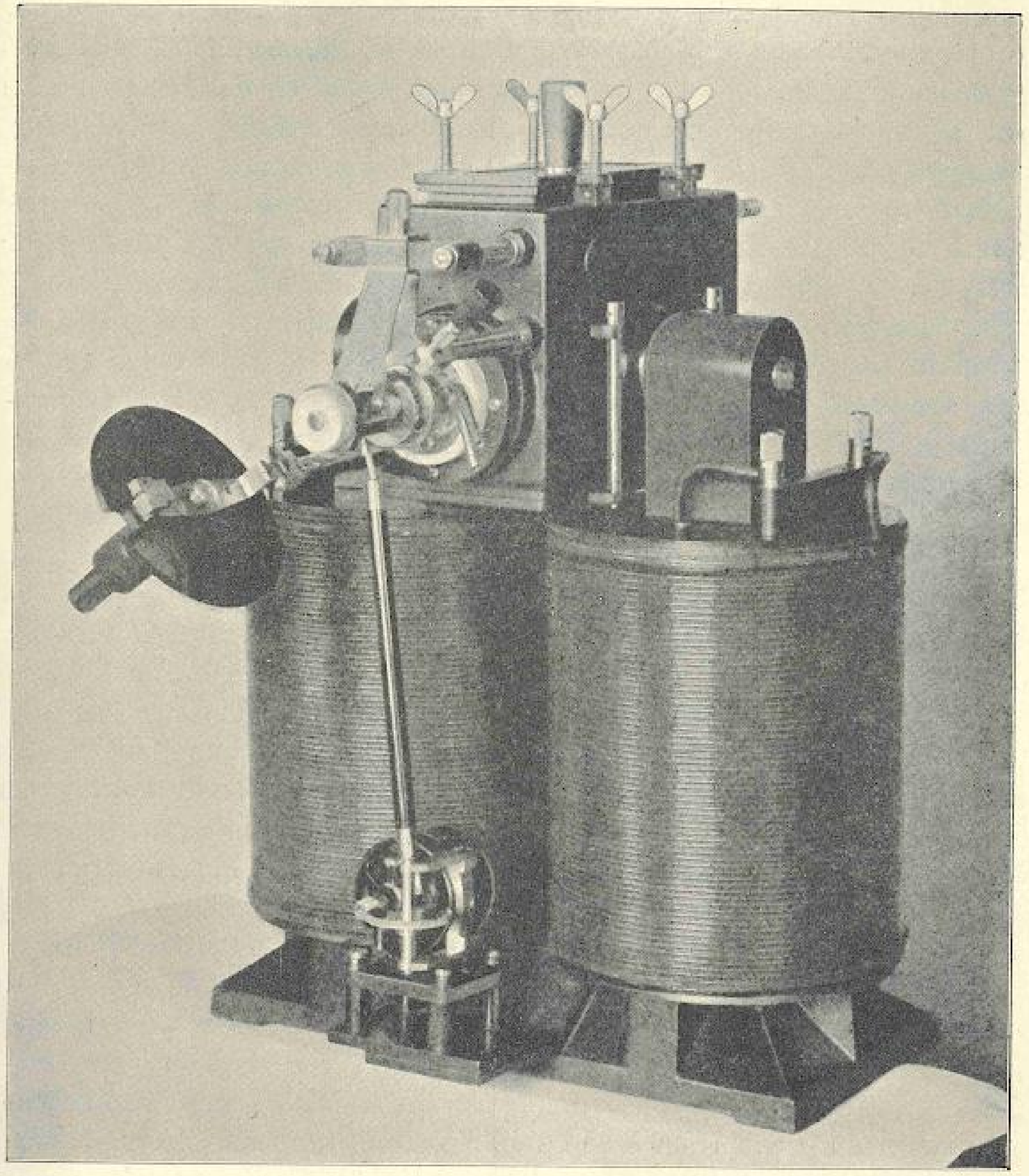


Fig. 398. Poulsengenerator, 30 kw.

The latter plate allows the distance from the carbon cathode to the copper anode to be regulated. The copper anode is inserted through the wall of the gas chamber from the opposite side. In order to cool the anode, or rather to prevent it from heating, it can be made hollow as shown in Fig. 395, whereby cooling water is allowed to flow through it;

or at least in smaller generators such as the present one it can be done by simply having the part of the anode outside the chamber support radially projecting metal lamellas, in the immediate vicinity of which a ventilator is in rotation. The ventilator then cools the lamellas and these in turn the electrode itself. The ventilator is driven by the same motor as the carbon cathode. In Fig. 396, some lamellas as well as one of the ventilator's wings are visible at the back. The gas chamber consists of a four-walled vessel, and into this chamber alcohol drips from a liquor container through a drip device on the lid. One drop every two or three minutes is usually sufficient to provide the chamber with a suitable atmosphere of hydrogen gas. The drip device opens and closes automatically when the arc is ignited or interrupted. The spent gas is discharged through a special drain pipe, which is located at the back of the generator in Fig. 396. To clean the gas chamber, the lid of the chamber can be unscrewed and removed.

In Fig. 397 another type of generator is shown, which delivers an oscillation energy of about 12 kilowatts. This generator does not differ in principle from the previous type. The direct current is introduced into the generator at the two clamping screws, which are visible on the far left. If we assume, for example, that the current enters at the clamping screw closest to the viewer, it first passes through one electromagnet winding and then immediately through the other electromagnet winding; from here the current is conducted to the carbon cathode (the red electrode) and through the arc to the copper anode and from there to the far of the two clamping screws just mentioned, where the current leaves the generator.

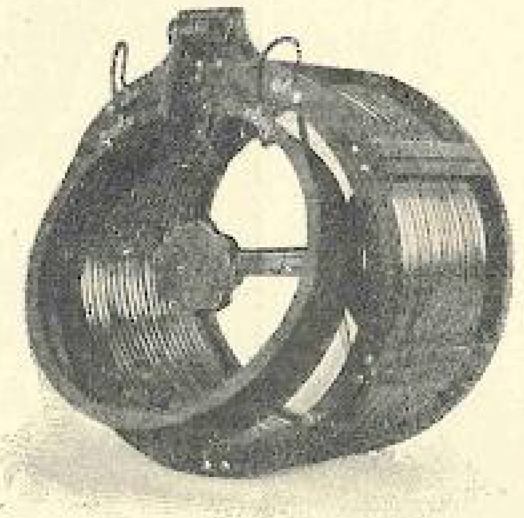
In Fig. 398 is shown the representation of an even larger Poulsen generator, which is intended to deliver an oscillation energy of up to 30 kilowatts. This is constructed according to the same principle as the generator in Fig. 396, although it differs in certain minor details. Here, for example, the copper anode is cooled not by a fan but by a current of water flowing inside it. Since the manufacturing rights to the Poulsen system are transferred to different electrical construction companies in different countries (see § 17), and since these companies have been able to vary the external appearance of the devices and to some extent also their internal construction at will in the manufacture of the different devices within the system, we have to notice different variants of devices that perform the same function within the system. For example, the Poulsen generator visible in Fig. 396 is constructed by Telefonfabrik-Aktiengesellschaft,

vorm. J. Berliner in Vienna, while the Poulsen generator in Fig. 397 originates from the "Kontinentale Syndikat for Poulsen-Radio-telegrafi" in Copenhagen. These and the apparatuses mentioned in the following description are, however, to be regarded as Poulsen apparatuses, since they are included as parts of Poulsen's system and because their manufacture is based on Poulsen's patent.

§ 20. Devices for self-induction and coupling at the sender.

Where self-induction comes into play in a Poulsen transmitter has already been shown in the diagram in Fig. 390 and the diagram in Fig. 393. Either the self-induction coil, as is the case with L in the direct coupling in Fig. 390, can serve as self-induction alone, or the coil, as is the case with the inductive coupling in Fig. 393, can serve simultaneously as self-induction and primary winding in the coupling transformer which transmits the oscillations to the antenna.

A device for self-induction, which can be used for both direct and inductive coupling, is that shown in Fig. 399.[1] It consists of a spiral of copper tube, all of whose turns can be used, in which case the self-induction is greatest. Or the number of turns can be reduced as desired, which can be done by adjusting and turning the metal shaft visible in the middle of the device with the handle. A sliding contact is attached to this metal shaft, which bears against the spiral from the inside. In the case of direct transmitter coupling, this spiral is connected in the system between the arc and the antenna in parallel with the transmitter capacitor (see Fig. 390). In the case of inductive coupling, the self-induction is also used as a primary spiral and is connected to the capacitor and the arc, in the manner shown in Fig. 393. The secondary coil, which in this case is connected between the antenna and the earth, is also visible in Fig. 399 as a smaller coil of wire. It is attached by a hinge to the body of the larger copper tube coil, although insulated from it. The coupling between the two coils of this trans- Fig. 399. A



self-induction and coupling device at the transmitter.

1 Manufactured by Telefonfabrik-Aktiengesellschaft, formerly J. Berliners, Vienna.